



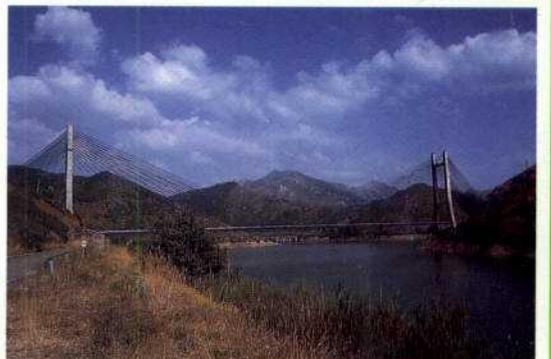
Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# PROGRAMA DE I+D EN GEOLOGIA AMBIENTAL

## PUBLICACIONES

1989-1992

TOMO II



AREA DE INGENIERIA GEOAMBIENTAL

01187

**PUBLICACIONES DEL PROYECTO I + D EN GEOLOGIA AMBIENTAL**  
**(1989-1992)**

**AREA DE INGENIERIA GEOAMBIENTAL**

**TOMO II**

**INDICE ALFABETICO**

- 21.- GALLEGO, E. Y BASCONES, M. (1991). "Cartografía aplicada a la evaluación del impacto ambiental". Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. ITGE. Madrid. (En prensa).
- 22.- GALLEGO, E., GAMARRA, I., LORAN, G. y MARTINEZ, E. (1992). Aplicabilidad de la E.I.A. Seminario sobre Evaluación de Impacto Ambiental. Colegio Oficial de Geólogos. Granada. (En prensa).
- 23.- GALLEGO, E. Y GARCIA-CORTES, A. (1992): El Patrimonio Geológico. Un patrimonio cultural en peligro. Tecnoambiente, nº 13, pp. 37-42. Madrid.
- 24.- GALLEGO, E. Y VADILLO, L. (1992). "Reclaiming areas degraded by mining operations". Planning the Use of the Earth's Surface. Lecture Notes in Earth Sciences. CENDRERO, LÜTTIG & WOLFF (Eds.) 42: 393-408. Springer-Verlag. Berlin.
- 25.- GLEZ. DE VALLEJO, L., BELTRAN, F. Y FERRER, M. (1992). "Estabilización y Control de un Gran Deslizamiento en Rocas Lutíticas". III Simp. Nac. sobre Taludes y Laderas Inestables. Sesión 6b. La Coruña.
- 26.- HERNANDEZ, M. (1991). "Problemas específicos de Proyectos sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental: Grandes Presas, Puertos y Obras en el Litoral. En: Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. ITGE. (En prensa).
- 27.- HERNANDEZ, M. (1991). "Consideraciones sobre la Evolución Estacional del Nivel Medio Relativo del Mar. Estación Mareográfica Alicante I (1982-1987). VIII Reunión Nac. sobre Cuaternario: Medios Sedimentarios, Cambios Ambientales y Habitat Humano. Dpto. de Geografía de la Univ. de Valencia.
- 28.- HERNANDEZ, M. Y AYALA, F.J. (1991). "Evolución Reciente Anual e Hiperanual del Nivel Medio Relativo del Mar. Estación Mareográfica Alicante". Boletín Geológico y Minero, vol. 102 nº 6, pp. 127-140.
- 29.- HERNANDEZ, M. Y AYALA, F.J. (1992). "Cambios Actuales en el Nivel Medio del Mar en la Costa Mediterránea Española y posibles efectos sobre la Dinámica Costera". Tecnoambiente, nº 18.
- 30.- HERNANDEZ, M. Y RIAZA, A. (1992). "Estimación de Factores del Medio Litoral con imágenes TM y MOS MESSR en el ámbito del Mar Menor (Murcia)". IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. (En prensa).
- 31.- HERNANDEZ, M., DEL VAL, J. Y VIÑALS, M.J. "Aplicación de Técnicas Geofísicas al Estudio del Cuaternario: Prospección Geoeléctrica mediante S.E.V. en la marjal de Oliva-Pego (Valencia-Alicante). VIII Reunión Nac. sobre Cuaternario. (En prensa).

- 32.- HOYOS, M. Y JORDA, J.F. (1989). "Los Yacimientos Arqueológicos y Paleontológicos asociados a los Depósitos Kársticos Cuaternarios de España". El Karst en España. Soc. Esp. de Geomorfología. Monografía nº 4, pp. 381-390.
- 33.- JORDA, J.F. (1990). "El Medio Geológico y su Explotación en el Castro de San Chuis (Allande, Asturias)". Boletín Geológico y Minero, vol. 101-5. ITGE, Madrid, pp. 780-791.
- 34.- JORDA, J.F. (1989). "Investigaciones Prehistóricas en el Alto Valle del Jarama". 1er. Congreso de Historia de Castilla-La Mancha (Ciudad Real, 1985). Pp. 111-123.
- 35.- JORDA, J.F., AURA, J.E. Y JORDA, F. (1990). "El límite Pleistoceno-Holoceno en el Yacimiento de la Cueva de Nerja (Málaga)". Geogaceta, nº 8, pp.102-104.
- 36.- JORDA, J.F. Y OTROS (1989). "Investigaciones Prehistóricas en el Alto Valle del Jarama". Revista de Arqueología, nº 94, pp. 61-62.
- 37.- JORDA, F., JORDA, J.F. Y OTROS (1989). "El Castro Asturiano de San Chuis". Revista de Arqueología, nº 95, pp.40-48.
- 38.- MULAS, J. (1990). "Metodología utilizada en la realización del Mapa Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de Alcoy. (M.P.V.S.). Aplicaciones. IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Tomo Comunicaciones. Gijón.
- 39.- MULAS, J. (1992). "Microzonación Sísmica. Estudio de la ciudad de Alcoy". En: Curso sobre Terremotos y Obras Civiles. CEDEX-IGN. Tomo II. Experiencias en España.
- 40.- MULAS, J. Y LAGUNA, L.M. (1992). "Investigación y Diseño de Medidas Correctoras en una Ladera Inestable en Boo (Asturias)". III Simp. Nac. sobre Taludes y Laderas Inestables. Sesión 6a. La Coruña.
- 41.- OTEO, C., SALINAS, J.L. Y FERRER, M. (1990). "Methodology of the Expansive Clays Hazard Preventive Map of Spain, 1:1.000.000". Proc. of the 5th. Intern. Congress of the Inter. Assoc. of Engineering Geology. Buenos Aires, 1986. Vol. 4, pp. 2361-2370.
- 42.- VADILLO, L. Y BARETTINO, D. (1992). "Problemática Ambiental de la Minería de Aridos Naturales". Tecnoambiente nº 13, pp. 47-50.
- 43.- DEL VAL, J. Y HERNANDEZ, M. (1989). "El Karst en el Macizo Hespérico". Soc. Española de Geomorfología. Monografía nº 4, pp. 217-229.

## BASES CARTOGRAFICAS PARA LA EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

Gallego Valcarce, Ernesto (\*) y Bascones Alvira, María (\*\*)

### RESUMEN

La utilización de cartografías temáticas, en fase de diagnóstico, así como las correspondientes a análisis, valoración y exposición de resultados, son una práctica habitual en los Estudios de Impacto Ambiental, práctica que por otra parte recoge y recomienda el propio Reglamento para la Ejecución del Real Decreto Legislativo sobre Evaluación de Impacto Ambiental.

La emisión de cartografía temática por parte de algunos organismos de la Administración encuentra diferentes problemas en su aplicación a Es.I.A., debido a su falta de actualización, escalas inadecuadas, amplias lagunas en determinadas regiones etc., lo que en muchos casos puede condicionar fuertemente el coste del estudio y la metodología a utilizar en su desarrollo.

Siendo los Es.I.A. dedicados a Proyectos de carreteras los más numerosos realizados hasta la actualidad, se analizan de forma más concreta las cartografías temáticas y escalas utilizadas, siguiendo una jerarquización desde estudios de planeamiento hasta proyectos de restauración.

Palabras clave: Evaluación de Impacto Ambiental, Cartografía temática.

### 1. INTRODUCCION

La necesidad de contar con cartografías temáticas en los Estudios de Impacto Ambiental (en adelante Es. I.A.), aparecen definidas en el artículo 9 del Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/86, al referirse al inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas y ambientales, «que comprenderá la identificación, censo, inventario, cuantificación, y en su caso cartografía, de los aspectos ambientales: población, fauna, flora, vegetación, gea, suelo, agua, aire, clima, paisaje y patrimonio histórico artístico».

El inventario ambiental permitirá conocer y definir el medio en la situación preoperacional, y al cruzar ésta con las características del proyecto detectar las interacciones y, en consecuencia, la identificación de los posibles impactos.

El soporte de información en cartografías temáticas puede ser utilizado en los E.I.A. en uno o varios de los pa-

sos metodológicos dentro de su realización: en la fase de inventario ambiental exclusivamente, como instrumento de detección y análisis de impactos y por último como ayuda a la exposición de conclusiones y resultados.

Es por ello que se ha elegido para la exposición parcial de esta cuestión desarrollarla en tres apartados.

El primero pretende dar una visión práctica de los fondos documentales, a nivel estatal, a los que se puede acceder en la búsqueda de información cartográfica temática, en si misma o como parte integrante de estudios, junto al tipo de información que registran y sus escalas.

Sin pretender la realización de un índice o un «manual» se piensa que es útil informar sobre dicha situación, de tal modo que se obtenga una primera visión de la documentación de la que se puede partir. Este conocimiento es básico para evaluar correctamente tiempos, costes y niveles de rigor a alcanzar ante previsiones económicas y técnicas para la elaboración de un Es.I.A.

Un segundo apartado pretende informar sobre los más importantes sistemas de información ambiental (territorial) a nivel internacional, definiendo sus objetivos y sus características básicas.

Se desarrollan en un tercer apartado, a modo de ejemplo, las cartografías temáticas más comúnmente elaboradas y/o utilizadas en la realización de Es.I.A., en España. Se ha elegido hacerlo en relación a los proyectos de carreteras, por dos razones fundamentales: por ser los de mayor número desde la entrada en vigor del procedimiento de E.I.A. en España, y por lo tanto ofrecer un mayor abanico de situaciones para el análisis, la segunda porque permite entrar a diferenciar fases consecutivas de planificación y decisión.

### 2. CARTOGRAFIAS TEMATICAS OFICIALES PARA USO EN ESTUDIOS AMBIENTALES

En la actualidad no existe un inventario ambiental a nivel nacional que cubra las necesidades básicas de los Estudios de Impacto. Entendiendo como tal un banco de datos público, aunque garantizando los fines a que se destine la información, debidamente homogeneizado, que recoja al

(\*) Ldo. en Ciencias Geológicas. Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico Geominero de España. C/ Ríos Rosas, nº 23. 28003 Madrid.

(\*\*) Lca. en Ciencias Geológicas. Agencia de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. C/ Princesa, nº 3. 28008 Madrid.

menos todas aquellas áreas, zonas o puntos de interés ambiental y que indique su grado de fragilidad y sensibilidad.

En el cuadro adjunto nº 1 se han sintetizado la cartografía temática básica publicada por diferentes organismos de la administración central, cuyos objetivos en su realización son muy diversos y cuyas escalas varían entre las menores de 1: 1.000.000 y la escala 1: 50.000, considerándose esta última y la escala 1: 200.000 como las escalas más comúnmente utilizadas y las que podrán tener una más clara aplicación a los Es.I.A.

Analizando dicho cuadro puede afirmarse que son básicamente dos organismos ITGE y MAPA-ICONA los que han publicado una mayor cantidad de cartografía temática, correspondiendo al IGN, INM y MOPU-SCOP un número mucho menor. Cabe señalar que en los servicios de documentación de todos ellos existe multitud de información no publicada que incluye cartografía a muy diferentes escalas. En este sentido pueden mencionarse el propio servicio de Documentación del ITGE, que edita anualmente un completo catálogo por palabras clave de sus fondos documentales, y ha publicado en 1988 cuadernos de síntesis de los estudios realizados por comunidades autónomas; del mismo modo es especialmente notoria la labor realizada por el Servicio de Documentación de la Secretaría General de Medio Ambiente del MOPU, que edita periódicamente un boletín de todos sus fondos de información.

En algunos casos acceder a determinada información no publicada es una labor difícil y laboriosa ya que sus fondos documentales no son de uso público.

La información cartográfica reseñada en el Cuadro nº 1 tiene, en la mayoría de los casos, y con el objeto de su aplicación a Estudios de Impacto cuatro problemas básicos.

1.—Existe una casi total falta de actualización de su información. Este hecho es especialmente constatable en aquella cartografía que refleja rasgos cambiantes del territorio, debido a la dinámica de utilización por parte del hombre de dicho territorio. Es el caso de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos publicados por el Ministerio de Agricultura, y cuya utilización obliga casi siempre a una testificación en campo o a una actualización utilizando técnicas de fotointerpretación, con vuelos de reciente realización. En otros casos, como por ejemplo en los Mapas Geológicos editados por el ITGE, la falta de actualización repercute más que en la validez actual de dicha información, en el concepto con que ésta se generó. Así la información geomorfológica, o el estudio de los depósitos cuaternarios básico en cualquier estudio de impacto, era prácticamente despreciada en la elaboración de dichos Mapas Geológicos cuyo objetivo iba más encaminado al conocimiento científico de la evolución e historia geológica de nuestro país, y a la obtención de información del sustrato para explotación de recursos minerales y rocas industriales. A este respecto consideramos un hecho muy positivo que los mapas geológicos 1: 50.000 de la Serie Magna realizados desde 1984 incluyen en su publicación un mapa

de síntesis geomorfológica a escala 1:100.000, y el mapa original, realizado a escala 1:50.000 puede consultarse en el centro de documentación.

La falta de actualización de la información cartográfica tiene su solución en la utilización de Sistemas de Información Geográfica (G.I.S.), en los cuales dicho proceso supone en tiempo y dinero unos costes mínimos.

Estos sistemas están siendo ya utilizados por la mayoría de los organismos públicos responsables de cartografía temática, siendo especialmente significativo el trabajo de la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía a través del Sistema de Información Ambiental de Andalucía (Sinamba) (De la Rosa, 1989. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía 1989). La utilización de G.I.S. acabará igualmente con el problema que supone, en muchos casos, el agotamiento y descatalogación de determinados mapas, éste es el caso de los diversos mapas de suelos provinciales existentes que fueron realizados entre 1968 y 1974, por el INIA y cuya adquisición como instrumento de trabajo es difícil.

2.—Existen amplias lagunas en muchas de las series de mapas citados. Por ejemplo, la serie Magna de Mapas 1:50.000 es todavía incompleta y no cubre la totalidad del territorio Nacional, aunque la previsión es completarla en los próximos años. Es especialmente en esta serie a escala 1:50.000, de mayor utilidad, donde se observa más claramente este problema. Las series a escala 1:200.000 aparecen completas excepto en los mapas Hidrogeológicos y Geológicos, iniciadas en los años 1982 y 1983 respectivamente.

En el Cuadro nº 1 se han incluido sólo los mapas que corresponden a series existentes, indicándose para aquellas no concluidas su fecha de inicio: «desde 1982». Para cualquier Estudio de Impacto con utilización del inventario ambiental existente es preciso comprobar con antelación la existencia en el área estudiada de todos los mapas, hecho que incidirá notablemente en el coste económico de la realización de dicho estudio.

3.—Un tercer problema importante resulta de la inadecuada existencia de escalas, ya que la mayor de éstas es 1:50.000, poco útil en muchos Estudios de Impacto que requieren escalas que oscilan entre 1:25.000 y 1:5.000. Se ha detectado una utilización abusiva de la ampliación fotográfica de mapas; por ejemplo, pasar de escalas 1:200.000 a 1:50.000, cuyas consecuencias en el contexto de un Estudio de Impacto Ambiental pueden ser nefastas, ya que suponen como mínimo una simplificación de la realidad del territorio.

A pesar de todo ello, no cabe duda de que toda esta cartografía, sobre todo en la fase de Estudios de Planeamiento, es muy útil con vistas a planificar o realizar el inventario ambiental preciso en cualquier estudio de impacto.

4.—Por último, conviene hacer notar que los contenidos de determinadas cartografías temáticas existentes sobrepasan los contenidos precisos para un Es.I.A., siendo,

en rigor, necesaria su interpretación o simplificación. Tal es el caso de los Mapas Geológicos, cuya leyenda compleja y tremendamente especializada puede y debe ser en muchos casos reconvertida en mapas litológicos, de lectura e interpretación más simple y de utilización más clara en equipos pluridisciplinarios.

Sería por tanto responsabilidad de cada equipo, en cada zona de trabajo y según el proyecto a analizar, definir los datos de las diferentes cartografías temáticas existentes, útiles para sus objetivos.

En el Cuadro nº 2 se incluyen, como datos meramente indicativos e informativos, los mapas publicados por los organismos internacionales: CEE y UNESCO, cuyas escalas los hacen inutilizables para los estudios aquí planteados, objetivo éste con el cual nunca se realizaron, permitiendo su utilización en trabajos de planificación y diagnóstico del territorio a nivel nacional o internacional.

Además de la información publicada por dichos organismos oficiales se cuenta en la actualidad con gran número de información de la realidad biótica y abiótica del territorio plasmada en diversidad de estudios, informes y planes referidos a zonas geográficas determinadas o a aspectos parciales de la realidad del medio.

En este sentido podemos citar los Planes de Ordenación del Medio Físico, inventario de zonas húmedas a nivel provincial o autonómico (el nacional está en estos momentos en elaboración), catálogos de espacios de interés, catálogos de espacios protegidos, estudios sobre endemismos florísticos y faunísticos, inventario de puntos de interés geológico, diagnósticos incluidos en los planes de uso y gestión de los espacios naturales protegidos o en los diversos instrumentos de planeamiento urbanístico y territorial (planes especiales de protección del medio físico), inventarios y catálogos del patrimonio histórico, trabajos de investigación o divulgación realizados por diferentes instituciones, etc.

La diversidad de organismos productores de dicha información, en la mayoría de los casos no publicada y de difícil acceso, da lugar a importantes desequilibrios en el Inventario Ambiental de unas regiones a otras de España. Como ejemplo hemos tomado la cartografía temática publicada o informatizada de dos comunidades autónomas, Madrid y Castilla-León (Cuadros nº 3 y 4), y emitida por los propios organismos autónomos. Es clara y notoria la diferencia de una a otra, y podemos afirmar que esta diferencia sería aún mayor si pudiéramos analizar toda la información ambiental generada para ambas comunidades y no publicada.

### 3. SISTEMAS DE INFORMACION AMBIENTAL DE CARACTER INTERNACIONAL

#### 3.1. INFOTERRA

La inclusión de parámetros medio-ambientales en la toma de decisiones, especialmente en los procesos de desarrollo que implican una utilización de recursos naturales,

ha generado a nivel mundial una masiva demanda de este tipo de información. Respondiendo a esta demanda, y en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se crea el sistema de información ambiental INFOTERRA (Sistema Internacional de Consulta en Materia de Fuentes de Información sobre el Medio Ambiente), que opera plenamente desde 1977. INFOTERRA se define como una «red mundial descentralizada que facilita el intercambio entre las naciones, que enlaza 137 países, que dependen de una red de centros nacionales de coordinación y que tiene una respuesta superior a las 1.100 esferas temáticas». En España el centro nacional de coordinación es la Secretaría General de Medio Ambiente del MOPU.

Según datos presentados en la reunión del Sistema INFOTERRA celebrada en Moscú en marzo de 1989 y cuyo objetivo fue elaborar la estrategia para el próximo decenio, en 12 años de funcionamiento «ha facilitado respuesta técnica a más de 86.000 problemas ambientales en 114 países».

INFOTERRA incluye en su directorio mundial de instituciones especializadas en medio ambiente una red de más de 6000 instituciones, que han sido seleccionadas por los centros nacionales de coordinación.

Los cinco componentes del sistema INFOTERRA son (Bendahmane, 1989):

1. Centros Nacionales de Coordinación, designados por los gobiernos.
2. Fuentes de información, inscritas en el Directorio Internacional.
3. Fuentes Sectoriales Especiales. Se trata de 24 centros reconocidos por su alta calidad en temas ambientales de interés prioritario, contratados por el PNUMA para proveer de información detallada sobre determinados problemas ambientales.
4. Centros de Servicio Regional, que corresponden a centros seleccionados en función de una problemática ambiental común dentro de una región.
5. Centros de Actividades del Programa, cuya información es desarrollar los centros nacionales, y capacitar a su personal.

#### 3.2. CORINE

En el ámbito de las Comunidades Europeas, y mediante decisión de su Consejo de Ministros (85/338/CEE) se inicia en 1985 el programa CORINE (Programa de Recopilación, Coordinación y Homogeneización sobre la situación del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales de la Comunidad) siendo el más ambicioso programa de información para el medio ambiente a nivel europeo que existe en la actualidad.

Además de ser un sistema de información para las instituciones europeas, gobiernos nacionales, administraciones, centros de investigación y universidades, está previsto

igualmente crear una base de datos a la que podrá acceder el público en general.

Los objetivos prioritarios de este programa son 3:

1. Definir y describir los biotipos especialmente importantes para la conservación de la naturaleza en la Comunidad.
2. Contribuir a solucionar el problema de la contaminación atmosférica local y transfronteriza, generalmente denominada «lluvia ácida».
3. Recoger y organizar una información coherente sobre los recursos y las características del medio ambiente más directamente afectados por los programas de desarrollo.

Su fin es servir a la definición y aplicación de políticas medioambientales, a niveles comunitarios, nacionales y regionales, así como informar a la opinión pública.

Los datos temáticos incluidos en CORINE son:

- Biotipos de importancia para la conservación de la naturaleza.
- Riesgo de erosión del suelo en la región mediterránea.
- Recursos terrestres importantes en la región mediterránea.
- Desagüe de corrientes fluviales en la región mediterránea.
- Calidad de las aguas fluviales.
- Emisiones atmosféricas.
- Riesgo de erosión costera.
- Datos suministrados de acuerdo con la legislación comunitaria que dan lugar a los proyectos: Biotopos, recursos hídricos y calidad de agua, emisiones a la atmósfera, riesgos de erosión y recursos del suelo, erosión costera, ocupación del suelo y regiones transfronterizas.

Los organismos responsables en España de cada uno de los proyectos son (Magariños Compaired, 1989):

- Proyecto Biotopos: ICONA.
- Proyecto Cubierta Vegetal: AMA de Andalucía con participación de IGN.
- Proyecto Aguas: Centro de Estudios e investigaciones del agua de Barcelona. E.T.S. Ingenieros de Caminos de Barcelona. Dirección General de Obras Hidráulicas del MOPU.
- Proyecto Erosión Suelos: E.T.S. Ingenieros Agrónomos de Madrid. IGN AMA de Andalucía.
- Proyecto Aire: Ministerio de Industria y Energía coordinado por el Servicio de Calidad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente.
- Proyecto erosión costera: Dirección General de Costas del MOPU. Junta de Andalucía.

Aunque toda la información generada en estos proyectos puede ser de clara aplicación a los Es.I.A., parece que la primera de ellas: CORINE BIOTOPOS, es especialmente necesaria y significativa, ya que su objetivo general (Rodríguez Martín, 1988) es definir y describir los biotopos especialmente importantes para la conservación de la naturaleza, estableciéndose un registro informático para su posterior incorporación a la base de datos CORINE.

Igualmente el Proyecto Ocupación del Suelo es útil en los Es.I.A., pues permite conocer en la actualidad cuáles son los usos del suelo en cada región, información ésta básica para definir la situación preoperacional de cualquier proyecto sometido a E.I.A:

De la información consultada respecto al proyecto CORINE existe una diversidad de escalas de trabajo propuestas, que varían entre la 1:50.000 utilizada en la recopilación de información para el proyecto biotopos, hasta la 1: 500.000 para el proyecto Corine Agua, con escalas intermedias 1: 200.000 para el proyecto erosión del Area Mediterránea y 1: 100.000 para los proyectos de ocupación de suelos y erosión costera proponiéndose en todos los casos mapas de síntesis a escala 1: 1.000.000.

#### 4. CARTOGRAFIAS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

Se analiza el estado actual de la utilización de bases cartográficas en la realización de Es.I.A. relativos a los proyectos de carreteras ya que son éstos los más numerosos, por el momento, en la aplicación del procedimiento de E.I.A. según la legislación vigente en el Estado Español. Según datos obtenidos de la Secretaría General de Medio Ambiente (Mayo 1990), del total de los 155 Es.E.I. que se tramitan por esa Secretaría, 88 corresponden a carreteras, constituyendo por tanto más del 50% de los proyectos en tramitación. Aún más acentuado es ese porcentaje si se tiene en cuenta que de las 19 Declaraciones de Impacto publicadas en el BOE, hasta Octubre de este año, 11 corresponden a dichos proyectos.

La variable ambiental en la toma de decisiones ante la realización de un nuevo viario puede y debe introducirse desde los primeros estudios. Esta conclusión se deriva del propio Real Decreto que regula la ejecución del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. El citado Real Decreto define el concepto de Proyecto como «todo documento técnico que define o condiciona de modo necesario, particularmente en lo que se refiere a la localización, la realización de planes y programas, la realización de construcciones o de otras instalaciones y obras, así como otras intervenciones en el medio natural o en el paisaje...».

En el momento de proyectar un nuevo eje viario o modificaciones sustanciales de una carretera preexistente, la legislación básica del Estado por medio de la Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras contempla las siguientes fases posibles de aproximación al proyecto de un nuevo trazado:

- Estudio de Planeamiento;
- Estudio Previo;
- Estudio Informativo;
- Anteproyecto;
- Proyecto de Construcción. Proyecto de Trazado;

y por tanto, en cada una de estas fases deben entrar en el proceso de análisis y elaboración los parámetros medio-ambientales, que tendrán diversas expresiones gráficas a través de diferentes cartografías temáticas, realizadas a distintas escalas.

Las cartografías temáticas a utilizar, incluyendo una correcta base topográfica, tienen tres momentos y tres objetivos diferentes dentro de los Estudios de Impacto Ambiental:

- de inventario y consulta
- de análisis y valoración
- de representación y exposición de resultados

Asimismo no puede olvidarse otra variable que entra a formar parte de la elección del tipo y escala de cartografías a utilizar, y es el ámbito de afección y por lo tanto de estudio, que a su vez depende, en algunos casos, de los factores del medio que se estén analizando.

A continuación se revisan para cada uno de los estudios indicados más arriba las escalas y tipos de mapas más frecuentemente utilizados o recomendados.

#### — Estudios de Planeamiento y Estudios Previos

De acuerdo con las directrices técnicas del MOPU, desarrolladas en los documentos sobre Recomendaciones para la Redacción de los Estudios de Carreteras, las escalas mínimas recomendadas para el diagnóstico son a 1:200.000 y 1:100.000. No se especifican, sin embargo, las escalas a utilizar en los planos «de condiciones ecológicas, estéticas y paisajísticas». Es necesario recordar que dichos manuales o publicaciones son anteriores a la transposición y adecuación de la legislación comunitaria sobre Evaluación de Impacto Ambiental a la normativa jurídica de nuestro país.

En los Estudios de Corredores o de Planeamiento para el Plan de Carreteras 1992-2000, en los que el MOPU ha incluido una detección de áreas sensibles del territorio con el fin de caracterizar los corredores desde un punto de vista ambiental, la escala utilizada, para las diferentes cartografías temáticas ha sido 1:400.000.

Los mapas temáticos elaborados en estos estudios suelen analizar y plasmar los siguientes descriptores básicos:

- Espacios sujetos a un régimen de protección especial o cuya protección esté en tramitación o en programas.
- Espacios con aprovechamientos cinegéticos o forestales de utilidad pública, como son las Reservas Nacionales de Caza y Cotos Sociales de caza, Montes del Estado y Montes Públicos, en general.

- Geología: Dominios litológico-estructurales. Puntos de Interés Geológico.
- Áreas de erosionabilidad elevada.
- Masas arboladas y recursos forestales no necesariamente de carácter público. Montes privados o consorciados. Localización de áreas especiales por existencia de especies endémicas o relictos.
- Áreas de alta productividad agrícola.
- Localización y distribución, en relación a la fauna, de especies protegidas o de interés, en los aspectos de: nidificación, migración, áreas de campeo o alimentación.
- Hidrogeología superficial y subterránea. Cursos fluviales y unidades acuíferas. Zonas húmedas.
- Principales dominios geomorfológicos. Puntos o zonas de geomorfología relevante.
- Puntos o zonas de interés paisajístico.
- Recursos culturales de carácter antrópico: grandes obras públicas, patrimonio histórico-artístico y arqueológico, rutas históricas, calzadas romanas y vías pecuarias.

Mediante la utilización de métodos de valoración cuantitativa y/o cualitativa, comunes a los Es.I.A., y que suelen adaptarse a las condiciones de cada caso concreto, se obtienen uno o varios mapas de síntesis que reflejan las principales zonas de importancia medioambiental. En ellos se tendrán en cuenta tanto la calidad objetiva de los espacios, como su vulnerabilidad, reversibilidad, y capacidad de acogida.

En cualquier caso el objetivo de un mapa de síntesis es alertar sobre los posibles efectos ambientales negativos, así como indicar las soluciones más respetuosas, en su caso, con la preservación del medio natural y la calidad ambiental del territorio.

#### — Estudios Informativos y Anteproyectos

Es la fase de Estudio Informativo de un proyecto, el momento en el cual se realizan los Es.I.A. propiamente dichos dentro del procedimiento de EIA, ya que es en esta fase en la que se estudian las posibles alternativas al trazado y se contempla, asimismo, el trazado definitivo de la carretera en base a la solución adoptada. Es, además, en esta fase en la que tiene lugar el trámite de información pública.

En los documentos antes referenciados, el MOPU no incluye ninguna recomendación específica respecto a escalas. En la práctica, para los proyectos de nuevos trazados y para autovías, suele trabajarse con diferentes escalas. La parte del estudio dedicada a la comparación de las posibles alternativas puede realizarse, preferentemente, a escala 1:50.000 o 1:25.000 en función de la longitud del trazado, la complejidad del territorio afectado y la problemática ambiental detectada en los estudios de planeamiento. Estas escalas son susceptibles de ampliación por efecto de

los condicionantes antes mencionados, y sobre todo, en los casos de entornos urbanos y de uso residencial.

Las cartografías temáticas comúnmente analizadas y realizadas abarcan las siguientes grandes líneas disciplinares:

- Geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología.
- Edafología, vegetación, fauna y usos del suelo.
- Espacios naturales protegidos. Patrimonio histórico-artístico. Otros elementos o áreas singulares.
- Análisis del paisaje.
- Representación gráfica de parámetros de calidad del aire y ruidos.
- Planeamiento y ordenación del territorio. Sistema territorial.

En algunos casos se elabora un plano resumen o sintético, cuya función puede denominarse de diagnóstico de la calidad ambiental y de alerta ante impactos ambientales.

Suele ser habitual que dentro de la fase de estudio informativo, la denominada «solución adoptada» se trabaje y evalúe a mayor escala como es a 1:5.000. Aún cuando en la presentación de resultados, y sobre todo para el trámite de información pública, la escala se reduce, para una mejor comprensión del conjunto. Por tanto el trazado que se considera más favorable se estudia a escalas propias de anteproyecto, al menos para algunos aspectos.

También en esta fase se definen las primeras medidas correctoras. Estas parten de un análisis más concreto del proyecto de la traza definitivamente adoptada. En dicho análisis se suelen elaborar los siguientes planos indicativos, a escala 1:5.000, como ya se ha indicado antes:

- Usos del suelo.
- Infraestructuras viarias o de comunicación afectadas.

- Cursos de agua y red de drenaje intercapacitada.
- Distribución en planta del tratamiento paisajístico, revegetación, actuaciones en puntos singulares y otras medidas correctoras y restauradoras.

La representación gráfica, o cartográfica, de los conceptos expuestos en último lugar, varía por el momento, según los estudios. Se suelen representar mediante claves o signos adecuados los tipos de medidas recomendadas o condicionantes para la protección al medio ambiente que se hayan indicado en la Declaración de Impacto, o emanadas de las conclusiones del Es.I.A. en cada tramo del proyecto. Estos mapas sirven de base, junto a los esquemas y perfiles que se consideren necesarios, para la elaboración, a nivel de anteproyecto, de un proyecto de restauración que se redactará definitivamente en la fase de Proyecto de Construcción y Trazado.

Los aspectos fundamentales que se reflejan son los relativos a:

- Revegetación, con indicación de especies, distribución y técnicas de plantación.
- Protección y tratamiento de taludes y márgenes.
- Prevención de procesos erosivos y defensa de la calidad del suelo.
- Corrección de afecciones al sistema hídrico y al sistema territorial.
- Deposition de sobrantes, en su caso.
- Estructuras de permeabilización para el trasiego de la fauna.
- Localización de pantallas acústicas o con cualquier otro fin corrector.

Por último podría entrarse a definir la representación gráfica utilizada en los proyectos de restauración o recuperación del medio natural. Las características y fines de dicha técnica escapan al alcance del tema hasta aquí desarrollado y debería ser objeto de una sesión específica.

## CUADRO 1

## CARTOGRAFIA TEMATICA BASICA PUBLICADA POR ORGANISMOS DE LA ADMINISTRACION CENTRAL

<p><b>Escalas menores de 1:1.000.000 .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España Informe de síntesis 1985. ITGE. E. 1:2.000.000.</li> <li>— Precipitaciones máximas en España 1979. ICONA. E. 1:2.000.000</li> <li>— Mapa de Suelos de Europa. 1965. FAO. E. 1:2.000.000.</li> <li>— Mapa Sismotectónico de la Península Ibérica IGN. E. 1:2.500.000.</li> <li>— Atlas de la radiación solar en España 1979. ICONA. E. 1:5.000.000.</li> <li>— Atlas climático de España 1983. INM. E. 1:3.000.000 - 1:6.000.000.</li> <li>— Atlas Nacional de España 1965. IGN. E. 1:2.000.000</li> <li>— Mapa de suelos de España 1967. CSIC. Instituto Nacional de Edafología. E. 1:2.000.000.</li> </ul> <p><b>Escala 1:1.000.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa Hidrogeológico Nacional 1972. ITGE.</li> <li>— Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias 1980. ITGE.</li> <li>— Mapa Minero de España 1988. ITGE.</li> <li>— Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baieares 1980. ITGE.</li> <li>— Mapa Gemológico y predictor de España 1986. ITGE.</li> <li>— Mapa Nacional del Karst 1986. ITGE.</li> <li>— Mapa Geotectónico de la España Peninsular, Baleares y Canarias 1980. ITGE.</li> <li>— Mapa predictor de arcillas expansivas 1986. ITGE.</li> <li>— Mapa del Cuaternario de España 1989. ITGE.</li> <li>— Mapa de Embalses 1986. MOPU.</li> <li>— Mapa de Suelos de España 1966. CSIC. Instituto Nacional de Edafología.</li> <li>— Mapa de productividad potencial forestal de la España Peninsular 1977. INIA.</li> <li>— Mapa de las comarcas geográficas de España 1961. IGN.</li> <li>— Mapa Sismoestructural de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. IGN.</li> <li>— Situación de los Terrenos yesíferos en España. 1962. SGOP.</li> <li>— Mapa pluviométrico de España (1931-1960). INM.</li> <li>— Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias 1976. ITGE.</li> <li>— Mapa de cultivos y aprovechamientos de España 1988. MAPA.</li> </ul>	<p><b>Escala 1:750.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa de Cuencas hidrográficas (situación de observatorios) INM.</li> </ul> <p><b>Escala 1:500.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa Metalogenético de España 1972. ITGE.</li> <li>— Atlas agroclimático nacional 1986. MAPA.</li> <li>— Caracterización Agroclimática (por provincias) desde 1974. MAPA.</li> <li>— Mapa litológico de España 1971. CSIC-SGOP-ITGE.</li> </ul> <p><b>Escala 1:400.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa minero-metalúrgico de Galicia 1982. ITGE.</li> <li>— Mapa geológico nacional (a extinguir) ITGE.</li> <li>— Mapa de Series de Vegetación de España 1987. MAPA-ICONA.</li> <li>— Mapas de estados erosivos (desde 1986). ICONA - MAPA.</li> <li>— Mapa Oficial de Carreteras 1990. MOPU</li> <li>— Mapa Forestal Español 1966. MAPA.</li> </ul> <p><b>Escala 1:200.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa de Síntesis Geológica 1971. ITGE.</li> <li>— Mapa Metalogenético 1973-1974. ITGE.</li> <li>— Mapa Geotécnico General 1973-1974. ITGE.</li> <li>— Mapa de Rocas Industriales 1973-1974. ITGE.</li> <li>— Mapa Hidrogeológico, desde 1982. ITGE.</li> <li>— Mapa Geológico, desde 1983. ITGE.</li> <li>— Mapa de Cultivos y Aprovechamiento. MAPA.</li> <li>— Mapa de suelos provinciales. 1968-1974. INIA.</li> <li>— Mapa Forestal de España (en realización) MAPA-ICONA.</li> </ul> <p><b>Escala 1:100.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa de suelos (Proyecto LUCDEME desde 1988) MAPA-ICONA.</li> </ul> <p><b>Escala 1:50.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Mapa Geológico Nacional 1.ª Serie, 1928-1972. ITGE.</li> <li>— Mapa Geológico Nacional 2.ª Serie, desde 1972. ITGE.</li> <li>— Mapa Hidrogeológico de España, desde 1982. ITGE.</li> <li>— Mapa de Orientación del vertido de Residuos Sólidos Urbanos, desde 1978. ITGE.</li> <li>— Mapa de cultivos y aprovechamientos. MAPA.</li> <li>— Mapa de clases agrológicas. MAPA.</li> <li>— Mapa de ordenación productiva. MAPA.</li> </ul>
--	---

CUADRO 2  
MAPAS TEMATICOS DE AMBITO EUROPEO Y MUNDIAL

Editados por la CEE. Escala 1:400.000-1:1.000.000 (\*).

- Mapa político.
- Mapa bosques.
- Mapa agricultura.
- Mapa poblados.
- Mapa vegetación.
- Mapa suelos.
- 1985.—Soil Map of The European Communities E. 1/1.000.000. Comission of the European Communities, Directorate-General Information Market and Innovation Luxembourg.

Editados por UNESCO (\*\*).

- Atlas climático de Europa 1970 E. 1:10.000.000 - 1:5.000.000.
- Atlas géologique du monde. E. 1:10.000.000.
- Carte de la répartition mondiale des régions arides. 1979 E.1:25.000.000.
- Carte hydrogéologique internationale d'Europe. E. 1:1.500.000.
- Carte internationale du quaternaire de l'Europe desde 1967 E. 1:2.500.000.
- Carte métallogénétique de l'Europe E. 1:2.500.000.
- Carte métamorphique de l'Europe E. 1:2.500.000.
- Carte tectonique internationale de l'Europe et des régions avoisinantes E. 1:2.500.000.
- Mapa geológico internacional de Europa y de la región mediterránea 1971 E. 1:5.000.000.
- Mapa mundial de suelos E. 1:5.000.000.
- Atlas de desertificación E. 1:10.000.000 (en realización).

(\*): 1977-1988. Extracto de los Catálogos de Publicaciones de la Comunidad Europea. 84 pp. Madrid.

(\*\*): UNESCO 1990. Catálogo de Publicaciones. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, pp. 55-65. París.

## CUADRO 3

## CARTOGRAFIA. TEMATICA BASICA PUBLICADA POR LA COMUNIDAD DE MADRID

<p><b>Escala 1: 500.000 1:400.000 1:200.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Atlas Geocientífico del Medio Natural de la Comunidad de Madrid 1988. ITGE-CAM.</li> <li>— Directrices de Ordenación del Territorio. Documento Previo 1985. Consejería de Ordenación del Territorio. Medio Ambiente y Vivienda CAM.</li> <li>— Atlas Hidrogeológico de la provincia de Madrid 1982. ITGE. Dip. Provincial.</li> <li>— Mapa de Orientación al vertido de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Madrid 1982. ITGE. Dip. Provincial.</li> <li>— Mapa fisiográfico de la Comunidad de Madrid 1985. Consejería de Agricultura y Ganadería. CAM.</li> <li>— Mapa de formaciones vegetales y usos actuales del suelo 1984. Consejería de Agricultura y Ganadería CAM.</li> <li>— Mapa de producción forestal potencial de Madrid 1985. Consejería de Agricultura y Ganadería. CAM.</li> <li>— Posibilidades de energías renovables en el territorio de la Comunidad de Madrid 1985. Consejería de Ordenación del Territorio. Medio Ambiente y Vivienda. CAM.</li> <li>— Mapa de capacidad de uso agrario del suelo 1984. Consejería de Ordenación del Territorio. Medio Ambiente y Vivienda. CAM.</li> <li>— Mapa de Intensidad de Tráfico 1988. Consejería de Política Territorial. CAM.</li> <li>— Mapa de carreteras de la Comunidad de Madrid 1989. Consejería de Política Territorial. CAM.</li> <li>— Mapa litológico de Madrid 1986. Consejería de Agricultura y Ganadería. CAM.</li> <li>— Atlas básico del área metropolitana de Madrid. 1979. MOPU-COPLACO.</li> <li>— Atlas climatológico básico de la subregión de Madrid 1980. MOPU-COPLACO.</li> <li>— Mapa de capacidad potencial de uso agrícola de la Comunidad de Madrid 1990. CAM. CSIC.</li> <li>— Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid 1990. CAM CSIC.</li> </ul> <p><b>Escala 1: 100.000 - 1:50.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Plan Especial de Protección del Medio Físico de la Provincia de Madrid. 1975. ICONA-COPLACO.</li> <li>— Plan Especial de Infraestructuras Básicas de la Provincia de Madrid 1977. COPLACO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Plan Especial de Infraestructura del Transporte de la Provincia de Madrid 1976. COPLACO (Escala 1:50.000).</li> <li>— Mapa Geotécnico de Ordenación Territorial y Urbana de la subregión de Madrid 1976. ITGE.</li> </ul> <p><b>Cartografía Temática informatizada. (Consejería de Política Territorial.):</b></p> <p><b>Escala 1:200.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Base geográfica.</li> <li>— Red Hidrográfica básica.</li> <li>— Red de ferrocarriles.</li> <li>— Red de carreteras.</li> <li>— Red de abastecimiento de agua.</li> <li>— Red de saneamiento y depuración.</li> <li>— Suelo ocupado por categorías.</li> <li>— Patrimonio arquitectónico.</li> <li>— Espacios naturales.</li> <li>— Red de transporte no motorizado (en estudio).</li> <li>— Red de vías pecuarias (en estudio).</li> <li>— Red de suministro eléctrico (en elaboración).</li> <li>— Unidades de tratamiento y propuestas del PCARSU (en elaboración).</li> <li>— Red de gasductos y oleoductos (en elaboración).</li> <li>— Formaciones vegetales y usos actuales del suelo.</li> <li>— Fisiográfico.</li> <li>— Producción forestal potencial.</li> <li>— Litológico.</li> <li>— Series de vegetación.</li> <li>— Clases de usos agrológicos.</li> <li>— Montes públicos.</li> <li>— Suelo ocupado por categorías.</li> <li>— Cultivos y aprovechamientos.</li> <li>— Recursos minerales y rocas industriales (en elaboración).</li> <li>— Contraste de usos forestales.</li> <li>— Contraste de usos agrarios.</li> <li>— Espacios de apoyo ganadero.</li> <li>— Potencialidad ganadera general.</li> <li>— Vegetación arbórea de interés natural.</li> <li>— Erosión edáfica para usos agrícolas.</li> </ul> <p><b>Escala 1:25.000.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Planeamiento Urbanístico.</li> <li>— Formaciones Vegetales.</li> </ul>
<p>Fuentes: 1990. Catálogo de Publicaciones de la Comunidad de Madrid. Mayo 1990. Servicio de Documentación y Publicaciones de la Consejería de Presidencia. 129 pp. Comunidad de Madrid 1988. Guía de Cartografía Temática Informatizada. Consejería de Política Territorial.</p>	

CUADRO 4

CARTOGRAFIA. TEMATICA BASICA PUBLICADA POR LA JUNTA DE CASTILLA Y LEON

<p>Escala 1:800.000.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Mapa de distribución de la Cabaña Ganadera.</li></ul> <p>Escala 1:500.000.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Mapa de tipología agraria.</li><li>— Mapa de clases agrológicas.</li><li>— Mapa de Suelos.</li><li>— Mapa geológico.</li><li>— Mapa de formaciones vegetales.</li></ul> <p>Escala 1.400.000.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Mapa Hidrogeológico.</li><li>— Mapa del agua.</li></ul>	<p>Escala 1:250.000.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Imagen Lansat- 5. Usos del suelo. Cartografía digitalizada.</li><li>— Mapa Ambiental E. 1:250.000.</li><li>— Mapa Geológico E. 1:200.000.</li><li>— Mapa Geotécnico E. 1: 200.000.</li><li>— Mapa Topográfico E. 1: 50.000.</li><li>— Mapa de usos del suelo E. 1: 50.000.</li><li>— Mapa de afecciones urbanísticas E. 1: 50.00.</li></ul>
<p>Fuente: Catálogo de Cartografía y Estudios Territoriales 1990. Junta de Castilla y León. 24 pp. Valladolid.</p>	

ABREVIATURAS CORRESPONDIENTES A LOS CUADROS 1, 2 Y 3

ITGE : Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

ICONA: Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza.

MAPA : Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

IGN : Instituto Geográfico Nacional.

INM : Instituto Nacional de Meteorología.

FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

MOPU : Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (actualmente MOPT).

CSIC : Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

INIA : Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

CEE : Comunidad Económica Europea.

SGOP : Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU.

CAM : Comunidad Autónoma de Madrid.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE. JUNTA DE ANDALUCIA (1990): El Sistema de Información Ambiental de Andalucía. Un instrumento para la planificación del ecodesarrollo. En: *Medio Ambiente en Andalucía*. Informe 88. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 45-85.

BENDAHMANE, H. (1989): El programa de información sobre medio ambiente del PNUMA: INFOTERRA. En: *La información para el medio ambiente. Presente y Futuro*. MOPU, Madrid, pp. 35-44.

CLAVES FARIAS, I. (Coordinador) (1984): *Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. MOPU-GEOTMA. Serie Manuales n.º 3. Madrid, 572 pp.

DE LA ROSA, D. (1989): Sistema de información ambiental de Andalucía (Sinamba), estructura básica y estado de desarrollo. En: *La Información para el medio Ambiente. Presente y Futuro*. MOPU. Madrid, pp. 163-175.

- GALLEGO VALCARCE, E. Y BASCONES ALVIRA, M. (1990): Evaluación de Impactos Ambientales. *IV Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Gijón. (En prensa).
- GARCIA BURGUES, J. (1989): El papel de la Comunidad Económica Europea. Programas y Sistemas de información para el medio ambiente. En: *La información para el medio ambiente. Presente y Futuro*. MOPU, Madrid, pp. 45-64.
- MAGARIÑOS COMPAIRED, D. (1989): Participación española en los programas internacionales de información sobre medio ambiente. En: *La información para el medio ambiente. Presente y Futuro*. MOPU, Madrid, pp. 71-76.
- PLAZA, J. (1989): El sistema de información Territorial de la Comunidad de Madrid. Cartografía Temática automatizada. En: *La información para el medio ambiente. Presente y Futuro*. MOPU, Madrid, pp. 199-204.
- PNUMA, (1989): Infoterra llega a la mayoría de Edad. *Nuestro Planeta*. Ed. PNUMA., 1 (2/3). Madrid, p. 8.
- SOLANA GUTIERREZ, J. (1989): Cartografía Temática del Medio natural. En: *El libro rojo de los bosques*. ADENA/WWF España, pp. 315-354.

## ANEJO

### SERVICIOS DE DOCUMENTACION, BIBLIOTECAS Y VENTA DE PUBLICACIONES CORRESPONDIENTES A LA ADMINISTRACION CENTRAL Y AUTONOMICA EN LA CIUDAD DE MADRID

La creciente demanda de información temática tanto para el desarrollo de Planes de Ordenación Territorial, como para Estudios de Impacto Ambiental, ha chocado tradicionalmente con el problema de la localización ya que se ubica en diferentes organismos de las administraciones central, autonómica o local.

En el marco del presente curso se ha considerado de interés para los alumnos y, muy especialmente, para los no residentes en Madrid, dotarles de un listado de los organismos de la administración central y autonómica, ubicados en Madrid con servicios de publicaciones, documentación o bibliotecas, que les sirva de guía para la obtención de diferente material, tanto durante el desarrollo del curso como durante su práctica profesional.

Como Anejo a la clase referida a «Bases Cartográficas para Evaluación de Impactos Ambientales», dicho listado recoge organismos donde se puede obtener la cartografía citada, así como diferentes datos estadísticos u otros documentos.

### ORGANISMOS DE LA ADMINISTRACION CENTRAL

#### MINISTERIO DE ECONOMIA Y HACIENDA

Centro de Publicaciones y Punto de Venta del Ministerio:  
Piza. del Campillo del Mundo Nuevo, 3. 28005 Madrid.  
Horario: 9 a 14, 16:30 a 18 horas.  
Tlfo.: 527 14 37.

#### Biblioteca:

C/ Alcalá, 7-9. 28014 Madrid.

- Instituto Nacional de Estadística (INE).  
Punto de Venta:  
Paseo de la Castellana, 183. 28046 Madrid.  
Horario: 9 a 14 horas.  
Tlfo.: 583 94 38.

#### Biblioteca:

Paseo de la Castellana, 183. 28046 Madrid  
Tlfo.: 583 92 32-583 94 11.

Observaciones: La mayoría de las publicaciones del INE pueden ser adquiridas en microfichas. Existen delegaciones provinciales.

TEMAS: Población, Actividades, Información estadística.

### MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA

Punto de Venta del Ministerio:  
C/ Alcalá, 36. 28014 Madrid.  
Horario: 9 a 14 horas.  
Tlfo.: 522 76 24.

- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.).  
Centro de Publicaciones y Punto de Venta del CSIC:  
C/ Vitruvio, 8. 28006 Madrid.  
Horario: 9:00 a 14:00 horas.  
Tlfo.: 262 96 33-262 96 34.

#### Biblioteca Central:

C/ Serrano, 117. 28006 Madrid.  
Horario: 9 a 17:00 horas (descanso de 14:30 a 15:30).  
Tlfo.: 261 98 00.

- Instituto de Información y Documentación en Ciencia y Tecnología (C.S.I.C.).  
C/ Joaquín Costa, 22. 28002 Madrid.  
Tlfo.: 563 54 82.

- Instituto de Geología Económica (C.S.I.C.).  
Fac. de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense de Madrid. 28040 Madrid.  
Tfño: 394 47 86.
- Museo Nacional de Ciencias Naturales (C.S.I.C.).  
C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.  
Tfño. 261 86 00.
- Centro de Ciencias Medioambientales (C.S.I.C.).  
C/ Serrano, 115. 28006 Madrid.  
Tfño.: 262 50 20.  
Observaciones: El Consejo Superior de investigaciones Científicas, consta de un total de 81 centros de actividad, repartidos por diferentes comunidades autónomas, y cuyas áreas de actividad son:  
Biología y Biomedicina.  
Ciencias Agrarias.  
Ciencia y Tecnología de materiales.  
Física y Tecnologías Físicas.  
Información y Documentación.  
Química y Tecnologías Químicas.  
Recursos Naturales.  
Tecnología de alimentos.

La mayoría de estos centros tienen, además de en los servicios centrales, bibliotecas, muchas de ellas de uso restringido.

TEMAS: Clima, Aire, Tierra, Agua, Vegetación, Fauna, Procesos, Patrimonio Natural, Patrimonio Histórico Artístico.

#### MINISTERIO DE ADMINISTRACIONES PUBLICAS

Punto de Venta del Ministerio:  
C/ Alcalá Galiano, 10. 28010 Madrid.  
Horario: 9 a 14 horas.

- Instituto Nacional de Administraciones Públicas.  
Punto de Venta:  
C/ Santa Engracia, 7. 28010 Madrid  
Horario: 9 a 13:30 horas.  
Tfño.: 446 17 00 (ext. 254)  
TEMAS: Asentamientos urbanos, Normativa, Sociología.

#### MINISTERIOS DE CULTURA

Punto de Venta del Ministerio:  
C/ Gran Vía. 51. 28004 Madrid.  
Horario: 9:00 a 21:00 (ininterrumpidamente).  
Tfño.: 247 21 46.  
C/ Muntaner, 221. 08036 Barcelona.  
Dirección General de Bellas Artes y Archivos.  
Sub. Gral. de Protección del Patrimonio Histórico.  
Centro de Documentación Patrimonio Histórico.  
Plaza del Rey, 3. 28004 Madrid.  
Tfño.: 532 50 89.

- Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.  
C/ El Greco, 4. Ciudad Universitaria, 28011 Madrid.  
MATERIAS: Patrimonio Histórico.

#### MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica. Punto de Venta:

Paseo Infanta Isabel, 1. 28014 Madrid.

Horario: 9 a 14 horas.

Tfño.: 347 50 00.

- Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA).  
Punto de Venta y Biblioteca.  
C/ Gran Vía de San Francisco, 4. 28003 Madrid.  
Horario: 9 a 14:00 horas.  
Tfño.: 347 60 00.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA).  
Biblioteca:  
C/ José Abascal, 56. 28003 Madrid.  
Tfño.: 442 31 99.  
TEMAS: Clima, Vegetación, Fauna, Patrimonio Natural, Actividades, Procesos.

#### MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

Centro de Publicaciones del Ministerio:

C/ Doctor Fleming, 7. 2.º 28006 Madrid.

Tfño.: 250 02 02/03/04/05.

Punto de Venta del Ministerio:

C/ Paseo de la Castellana, 160. 28046-Madrid.

Horario: 9 a 14 horas.

Tfño.: 458 80 10 (ext. 1076).

- Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE).  
Servicio de Documentación y Biblioteca.  
C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.  
Horario: 9:45 a 13:30 horas.  
Telfno: 441 65 00.  
  
Servicio de Publicaciones. Punto de Venta.  
C/ Cristobal Bordiú, 34. 28003 Madrid.  
Horario: 9 a 13 horas.  
Tfño.: 441 70 67.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE).  
Biblioteca:  
Paseo de la Castellana, 93. 28071 Madrid.  
Horario: 8 a 14:00 y de 15:00 a 18:00 horas.  
Tfño: 556 84 15.
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).  
Biblioteca:  
Avenida de la Complutense, 22. 28040 Madrid.  
Horario: 8 a 16:30 horas.  
Tfño: 346 60 00.  
  
Punto de Venta:  
  
• Librería Ciencia e Industria.  
C/ San Juan de la Cruz, 3. 28003 Madrid.  
Tfño: 533 75 43.

**TEMAS:** Tierra, Procesos, Patrimonio Natural, Aire, Agua, Actividades, Normativa.

**Observaciones:** Está previsto que las publicaciones referidas a Comercio y Turismo, anteriormente en otro Ministerio, puedan adquirirse en el punto de venta del actual.

## MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES

Centro de Publicaciones del Ministerio:  
Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid.  
Tlfno.: 533 49 00-533 16 00.

Punto de Venta:  
Paseo de la Castellana (esquina Pza. San Juan de la Cruz).

- Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente.  
Servicio de Documentación:  
Paseo de la Castellana, 67. Plta. 4. Nuevos Ministerios. 28071 Madrid.  
Horario: 9 a 14:30 horas.  
Tlfno.: 553 16 00 - 553 56 00 - 553 49 00 (ext. 3606-3603-3604)
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).  
Punto de Venta y biblioteca:  
C/ General Ibáñez de Ibero, 3. 28003 Madrid.  
Horario: 9 a 14:00 horas  
Tlfno.: 533 38 00 - 533 24 00.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).  
Punto de Venta y biblioteca:  
C/ Alfonso XII, 3 y 5. 28071 Madrid.  
Horario: 9 a 14:00 horas.  
Tlfno.: 467 37 08.
- Instituto Nacional de Meteorología.  
Punto de Venta y Centro de Información:  
Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.  
Tlfno.: 581 96 30.
- Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP)  
Biblioteca:  
Avda. Portugal, 81. 28071 Madrid.  
Horario: 9 a 14:30 horas (uso restringido).  
Tlfno.: 464 08 00.
- Centro de Estudios Hidrográficos.  
Punto de Venta y biblioteca:  
Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3. 28071 Madrid.  
Horario: 9:30 a 14:30 horas.  
Tlfno.: 265 68 00.

## Bases cartográficas para la evaluación de impactos ambientales

- Instituto del Territorio y Urbanismo.  
Biblioteca:  
Paseo de la Castellana, 67. Nuevos Ministerios. 28071 Madrid  
Horario: 9 a 14:00 horas.  
Tlfno.: 553 16 00.  
Publicaciones Transportes:  
Pza. San Juan de la Cruz, s/n. 28003 Madrid.  
Tlfno.: 533 24 03 (ext. 2395).

**TEMAS:** Actividades, Asentamientos Urbanos, Infraestructura, Normativa, Medio Físico.

**Observaciones:** Está previsto que las publicaciones referidas a Transporte, anteriormente en otro Ministerio, puedan adquirirse en el punto de venta del actual del MOPT.

## LIBRERIAS

- Librería PHOEBE, S.A.  
C/ Fernández de los Ríos 95. 28015 Madrid.  
Tlfno.: 449 31 07.  
(Mapas).
- Librería GEA.  
Facultad de Ciencias Biológicas y Geológicas.  
Universidad Complutense. 28040 Madrid.  
Tlfno.: 243 30 27.  
Centro Comercial Madrid 2. Local B-66.  
Avda. Monforte de Lemos, s/n (La Vaguada). 28029 Madrid.  
Tlfno.: 730 47 30.  
(Geología, Ecología, Mapas, Gufas, Medio Ambiente).
- NAOS Libros S.A.L.  
C/ Quintana 12. 28008 Madrid.  
Tlfno.: 247 39 16.  
(Urbanismo, Arquitectura, Ordenación del Territorio).
- Tienda Verde.  
C/ Maudes 38. 28003 Madrid.  
Telf. 91-533 64 54-253 07 91.  
(Mapas, Gufas, Medio Ambiente).
- Librería Agrícola.  
C/ Fernando VI, 2. 28004 Madrid.  
Tlfno.: 319 09 40.  
(Agricultura).
- Mundi Prensa Libros, S.A.  
C/ Castelló, 37. 28001 Madrid.  
Tlfno.: 431 33 99.  
(Agricultura, Economía, UNESCO, FAO, CEE).

SEMINARIO SOBRE  
EVALUACION DE  
IMPACTO AMBIENTAL

GRANADA, 23-24 DE ENERO DE 1992

DOCUMENTO BASE:  
PONENCIAS



**COLEGIO  
OFICIAL  
DE  
BIOLOGOS**

REPRODUCIDO CON LA  
COLABORACION DEL



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España



**ILUSTRE  
COLEGIO  
OFICIAL  
DE GEOLOGOS**

# SEMINARIO SOBRE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

Granada, 23-24 de Enero de 1992

## ENTIDADES ORGANIZADORAS

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos  
Colegio Oficial de Biólogos

## COMITE DE HONOR

D. Josep Borrell	Ministro de Obras Públicas y Transportes.
D. Manuel Chaves	Presidente de la Junta de Andalucía.
D. Pascual Rivas	Rector de la Universidad de Granada
D. Pere Camprubí	Decano del Colegio Oficial de Biólogos
D. Santiago Leguey	Presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

## COMITE ORGANIZADOR

Antoni Alarcón ( COB )  
Eleuterio Baeza ( ICOG )  
Matilde Barón ( COB )  
Juan J. Durán ( ICOG )  
Alberto Fraguas ( COB )  
Juan A. Martín-Vivaldi ( ICOG )  
Ana Morales ( COB )

## PATROCINADORES

- Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Dirección General de Política Ambiental ( Secretaría de Estado para las Políticas del Agua. MOPT. ).
- Confederación Hidrográfica del Sur de España.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- CETURSA.
- INGEMISA.
- REDESA.

## COLABORADORES

- Excelentísima Diputación Provincial de Granada.
- Universidad de Granada.
- Excelentísimo Ayuntamiento de Granada.
- Sociedad Geológica Española.
- European Communities Biologists Association.

## GRUPOS DE TRABAJO

- Ámbito 1: Eleuterio BAEZA CHICO (ICOG)  
Miguel Angel DE LA CALLE AGUDO (ICOG)  
Francisco CARPE RISTOL (COB)  
Herminio PICAZO CÓRDOBA (COB)  
Inmaculada RAMÍREZ SANTIGOSA (COB)
- Ámbito 2: Ernesto GALLEGO VALCARCE (ICOG)  
Ignacio GAMARRA ROSANDIO (ICOG)  
Gisela LORAN BENAVENT (COB)  
Eduardo MARTÍNEZ GARCÍA (COB)
- Ámbito 3: José CHACON MONTERO (ICOG)  
Francisco VALLE TENDERO (COB)  
Francisco Javier SORIA RODRIGUEZ (ICOG)  
José Luis ROSÚA CAMPOS (COB)
- Ámbito 4: Angel JARAMILLO (COB)  
Luis OLÍAS (COB)  
Avelino MARCOS (ICOG)  
Francisco Javier BURILLO (ICOG)

## ÁMBITO N° 2

Ponencia: APLICABILIDAD DE LA EVALUACIÓN DE  
IMPACTO AMBIENTAL.

Problemas detectados.

Definición de metodologías y contenidos.

Características de las Administraciones Públicas.

### Grupo de Trabajo:

Ernesto GALLEGO VALCARCE (ICOG)

Ignacio GAMARRA ROSANDIO (ICOG)

Gisela LORAN BENAVENT (COB)

Eduardo MARTÍNEZ GARCÍA (COB)

## INDICE

1.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y EN APLICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.

2.- METODOLOGIAS Y CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS Y EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

2.1. Métodos de identificación.

2.2. Modelos de predicción.

2.3. Evaluación de impactos.

2.4. Contenidos del Estudio de Impacto Ambiental.

3.- CARENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN.

## 1.- PROBLEMAS DETECTADOS EN LA ELABORACIÓN DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y EN APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

Los problemas detectados en lo que se considera genéricamente la aplicación del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) son consecuencia, en primer lugar de una incorrecta interpretación del espíritu y filosofía de la ley, y en segundo lugar, de los derivados de la correcta aplicabilidad de la secuencia de trabajos y actividades expresadas en la misma Ley; el origen de todo ello puede residir en la falta de una voluntad política de llevar a cabo una gestión amplia de la EIA y de las reticencias de diversos sectores de la sociedad, de acoger una nueva valoración en las actividades económicas a realizar. En este punto conviene recordar que la utilidad de la EIA está fuera de toda duda; esta utilidad viene avalada por la experiencia adquirida en otros países, y por las opiniones de organismos internacionales; el resultado obtenido de la aplicación de la EIA depende, naturalmente, del uso que de ésta se haga.

Es preciso insistir, como problema fundamental que va a condicionar los trabajos del técnico profesional y del equipo redactor, el momento de realización de la EIA. De acuerdo con la filosofía de la ley, uno de los objetivos básicos de la EIA es introducir la variable ambiental en la toma de decisiones; para ello es imprescindible que dicha variable se introduzca desde las fases iniciales o estudios de planeamiento, en vez de esperar a fases avanzadas del diseño del proyecto, aquel enfoque permite cumplir así el marcado carácter preventivo que se plantea con este procedimiento.

Por ser los Estudios de Impacto Ambiental (Es.IA) de carreteras los más numerosos y conocidos, nos referimos a ellos como ejemplo de lo anteriormente dicho. En muchas, demasiadas ocasiones, la EIA y su estudio correspondiente se convierten en un mero estudio, en el mejor de los casos, cuando no en una simple relación de medidas correctoras o compensatorias, ya que en el momento de realizarse, en Fase de Estudio Informativo, ya se ha negociado y se está redactando la fase posterior, que es el anteproyectos del viario. Se hace cada vez más imprescindible, por tanto, evitar estas situaciones, forzando la introducción de la variable ambiental, en las diversas fases del proyecto y especialmente en las de planeamiento (lo que no implicaría hacer diversos EIA para un mismo proyecto sino introducir, a las diversas escalas de trabajo, las variables ambientales fundamentales a considerar hasta llegar al proceso de EIA y su estudio propiamente dicho). Con todo ello tal vez se podrá igualmente solucionar el sempiterno problema de plazos, ya que los EIA se realizan normalmente con plazos cortos y presupuestos muy bajos.

Un conocimiento de los problemas ambientales desde las fases de planificación favorecería tanto los problemas de plazos como reduciría los gastos en los EIA, redundando además en una mayor calidad de los estudios, que ha sido continuamente valorada por la Administración como deficiente.

Es posible que parte de los problemas aquí planteados tengan solución en la Directiva comunitaria sobre Evaluación Ambiental Estratégica aplicada a Políticas, Planes y Programas, actualmente en fase de redacción.

Un segundo y grave problema para el profesional, y que ha sido igualmente denunciado por diversos sectores, es aquel que afecta a la propia independencia del técnico encargado de realizar el EIA. El hecho de que el promotor del proyecto sea el encargado de redactar el estudio de impacto, que normalmente contrata a personas o equipos, supone sobre éstos una continua presión para evitar "problemas" en el desarrollo de los proyectos. Evitar esta situación sólo será viable aplicando serios controles de calidad a los Estudios por parte de las administraciones ambientales competentes.

Reiterando el caso de los Es.I.A. en carreteras, es igualmente grave que éstos se realicen por grupos diferentes, según una partición en pequeños tramos que complica el análisis ambiental e impide una objetivación del análisis global. Este problema afecta tanto a técnicos que realizan el estudio como a la propia Administración.

- Igualmente se ha detectado, tanto por parte de los promotores de los proyectos, como de los organismos ambientales competentes, una clara dejadez o falta de control de calidad en la actividad de los "equipos teóricos" que deben realizar dichos estudios. Así, en muchos casos la realización de Es.I.A. no se basa en la existencia de equipos coordinados y unos objetivos claros, sino en una mera superposición de informes parciales, mal coordinados, que un teórico director acumula y encuaderna siguiendo un "guión de manual", en vez de las propias necesidades y objetivos que deben regir este tipo de estudios.
- Es curioso igualmente, y se ha detectado en diversos casos, la falta de entendimiento entre los redactores del proyecto técnico y el equipo redactor del Es.I.A. Es absolutamente imprescindible que todo el equipo "medioambiental" conozca las características básicas del proyecto que se está realizando, exigir que éste les sea entregado para su análisis, y no esperar a la tópica frase de "...no te preocupes, la síntesis del proyecto (que se incluye en el Es.I.A.) la hacemos nosotros (el equipo redactor del proyecto)".
- El mal uso abusivo de "manuales" o índices preestablecidos por la Administración, y en muchos casos de obligado cumplimiento, para elaborar un Es.I.A. de un tipo de proyectos, parece que está dando como resultado olvidar un problema básico de este tipo de estudios: cada proyecto, realizado sobre un territorio concreto, genera diferentes problemas y deben usarse diferentes técnicas de evaluación. Justificar la "uniformidad" para un mejor "hacer administrativo" parece una falacia en el tratamiento de problemas ambientales.

Entrando ya más concretamente en la elaboración de los Es.I.A. y específicamente en los Inventarios Ambientales, en la mayoría de los casos obtenidos a partir de información cartográfica o estadística ya existente, los problemas detectados han sido los siguientes:

- La información existente aparece dispersa en multitud de centros de las diversas administraciones, central, autonómica y local así como en centros de investigación: universidades, CSIC, etc.

Debería ser responsabilidad de las administraciones competentes la realización de bases de datos, centros de documentación básica existente, características de dicha información y lugar de localización.

- El acceso en muchos casos, aún tratándose de información pública, es complejo.
- En la información cartográfica realizada hasta la actualidad (mapas geológicos, hidrogeológicos, cultivos y aprovechamientos, etc.) existe una total falta de actualización. Este hecho es especialmente constatable en aquellas cartografías que reflejan rasgos cambiantes del territorio. En un plazo más o menos corto, la solución a este problema estará en la utilización de Sistemas de Información Geográfica por parte de los organismos responsables de la elaboración y edición de esta cartografía. La falta de actualización de la información cartográfica obligará en cualquier caso a su testificación en campo o a su actualización utilizando, entre otras, técnicas de fotointerpretación.
- Existen múltiples lagunas geográficas en la información cartográfica existente, especialmente en las series de mayor utilidad (E. 1:50.000), de los mapas generados por la Administración Central. En caso de las Comunidades Autónomas se detectan fuertes desequilibrios entre unas y otras, en la voluntad de sus organismos responsables, en la calidad y cantidad de cartografía temática existente y/o publicada.
- En muchos casos se ha detectado un enfoque excesivamente generalista, con un uso abusivo de ampliaciones fotográficas de mapas a escalas no adecuadas para el estudio concreto que se quiere realizar. Las cartografías existentes a escalas entre 1:1.000.000 y 1:200.000 deben ser utilizadas únicamente para las fases de planificación, siendo útiles para los Es.I.A. las escalas que varían entre 1:50.000 y 1:5.000. En general, sería preciso una adaptación de las escalas del Es.I.A. a la del proyecto.
- No todos los contenidos de las cartografías temáticas existentes son de aplicación directa a los Es.I.A., siendo por tanto necesaria su adaptación al caso particular del Es.I.A.

- Se considera igualmente necesario la cita de referencias bibliográficas. No es éste sólo un problema de "ética" profesional; es además un método de control de calidad por parte de la Administración, el conocer las fuentes de información utilizadas por el equipo redactor del Es.I.A.
- Por parte de la Administración es preciso hacer un esfuerzo relativo a la investigación de técnicas de evaluación y valoración, desarrollando programas y líneas de investigación sobre los múltiples factores que entran en juego en la elaboración de los Es.I.A.

Al igual que en los estudios y planes de Ordenación Territorial, los objetivos de los Es.I.A. son, además de la introducción de la variable ambiental en la toma de decisiones, la posibilidad de discutir por parte de los sectores afectados sobre bases objetivas, hecho éste que pasa actualmente por desarrollar las líneas de investigación antes referidas.

- Por último, y respecto al capítulo de medidas correctoras y plan de vigilancia ambiental que realmente se redacta y desarrolla (cuando se hace, que no siempre es así) después de la publicación en el B.O.E. de la declaración de impacto, éste se contrata y es realizado, en muchos casos, por equipos y técnicos diferentes que los que han realizado el Es.I.A. Salvando la libertad de contratación por parte de las empresas, tal situación parece al menos una contradicción, ya que implica necesariamente, por parte del nuevo equipo, una puesta a punto y un conocimiento del proyecto que el equipo anterior ya tenía.

## 2.- METODOLOGÍA Y CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS Y EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación del Impacto Ambiental es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad causa sobre el medio ambiente. Estos efectos se comprenden que pueden afectar a la población humana, la fauna, la flora, la gea, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas, los elementos que componen el Patrimonio Histórico Nacional, las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público.

La base de la evaluación es el Estudio de Impacto Ambiental, en el que es preciso identificar, describir y valorar los efectos notables que pueda ocasionar el proyecto, de forma que la autoridad competente puede pronunciarse sobre su ejecución mediante la correspondiente Declaración de Impacto.

Es por ello que será preciso hacer especial mención al Estudio de Impacto Ambiental que, como se ha mencionado en esta ponencia hasta la saciedad, debe ser ejecutado por un equipo interdisciplinar de profesionales, a fin de que tenga sentido y pueda ser útil en la Evaluación de Impacto Ambiental definitiva.

El Estudio de Impacto Ambiental, de acuerdo con la legislación vigente, debe contemplar los siguientes aspectos:

- Descripción del proyecto y sus acciones. Examen de alternativas.
- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas y ambientales de Impactos.
- Identificación y valoración de impactos.
- Propuesta de medidas protectoras y correctoras y programa de vigilancia ambiental.

El estudio debe iniciarse por el examen del proyecto, que se realiza simultáneamente, que se desea ejecutar, esto implicará que se conocerán los parámetros ambientales que pueden verse alterados por su ejecución, tales como: necesidades de terreno, movimientos de tierras, necesidades de materias primas y energía, residuos generados....Estos parámetros podrán verse modificados de forma diferente al escoger una u otra de las alternativas que es preciso considerar, igual que diferentes ubicaciones del proyecto final ejecutado; por ello será preciso conocer las características ambientales básicas de cada uno de los posibles emplazamientos.

Una vez escogido aquel lugar en el que, según los datos preliminares que se poseen, una de las alternativas está más favorecida, es posible proceder con las fases siguientes.

La descripción del medio no debe plantearse como un compendio de todo el saber científico existente sobre una zona geográfica determinada, que es lo que parecen perseguir algunas descripciones existentes.

La descripción necesaria que debe realizarse será diferente en cada uno de los proyectos que requieren evaluación de impacto ambiental, Sería inútil describir la situación faunística del entorno al estudiar el impacto ambiental de una industria química en un polígono industrial, que sin embargo es de gran interés en el caso de una presa hidráulica. Por ello es preciso tener muy claro cuál es el objetivo final del proceso de evaluación de impacto ambiental. Lo que interesa es conocer los efectos que el proyecto tendrá sobre el entorno, a fin de poder identificarlos y valorar su impacto sobre éste, lo que permitirá diseñar unas medidas correctoras que reduzcan el impacto ambiental negativo o rechazar la opción estudiada y analizar alternativas, sus objetivos y oportunidades.

Para la correcta ejecución de la evaluación de impacto ambiental, cubriendo cada una de las fases precisas (identificación, predicción de efectos y evaluación) será preciso utilizar varios métodos o técnicas que serán muy diversos en función del tipo de proyecto a estudiar. De esta manera, cada estudio es específico de cada proyecto y difícilmente extrapolable a otros proyectos, aunque sean similares.

## 2.1. Métodos de identificación

Como ya se ha mencionado, éstos nos deben permitir describir el sistema ambiental existente y el proyecto propuesto a fin de definir las alteraciones que el medio puede sufrir debido a la ejecución del proyecto.

La adopción de un listado permite reconocer, si éste es suficientemente amplio, los parámetros ambientales que pueden verse afectados por el proyecto.

Se parte de un listado abierto de revisión, en el que se citan los parámetros o factores ambientales, esta lista genérica puede obtenerse a partir de las incluidas en procedimientos o métodos que distintos organismos aplican en varios países. A título de ejemplo, podrían citarse las siguientes: Banco Mundial, O.M.S., P.N.U.M.A., Canadá, U.S.A., Francia, Reino Unido...Igualmente es posible utilizar los factores ambientales de Battelle o Leopold. Es preciso que en el listado se puedan introducir parámetros nuevos no contemplados en el listado original.

Similares a los listados, son los cuestionarios, que han sido generados, normalmente a fin de permitir la emisión de juicios rápidos en procedimientos administrativos de grandes proyectos que pueden afectar al entorno. Para ello se utiliza una serie de preguntas que permiten tener en cuenta los aspectos ambientales más conflictivos, un ejemplo de este tipo de cuestionario es el desarrollado por el Banco Mundial para aplicarlo a proyectos de Centrales Térmicas.

Una vez reconocidos los parámetros ambientales que pueden verse afectados, es posible elaborar las matrices causa-efecto. En filas y columnas se listan las acciones del proyectos y los factores del entorno que pueden verse afectados. El ejemplo más conocido de este tipo de matrices es la de Leopold, preparada para el Servicio Geológico del Ministerio de Interior de Estados Unidos. Además existen las utilizadas en el procedimiento del Banco Mundial, en la primera fase de identificación en Canadá (FEARD) o la propuesta en el Reino Unido (PADO).

Un estado más avanzado del estudio nos debe permitir complicar las matrices de identificación de factores ambientales y actividades que los modifican, efectos primarios ocasionados, secundarios medidas correctoras y programa de vigilancia preciso.

La matriz desarrollada por la "Central New York Development Board" (USA) sería un ejemplo de matriz cruzada en la que se indican efectos primarios y secundarios. El sistema desarrollado por Sorensen para analizar el uso de recursos

en las zonas costeras es también un método de este tipo, en el que se desarrollan matrices escalonadas en número de cinco. El método Bereano, desarrollado para estudiar las diferentes alternativas en el caso del oleoducto de Alaska, también pertenece a este tipo de metodología.

De forma paralela a la utilización de esta tipología de técnicas de identificación, pueden desarrollarse otras más específicas como la comparación entre diferentes escenarios a partir de la información bibliográfica existente y extrapolable; la utilización de encuestas, bancos de datos específicos para EIA, la organización de seminarios interdisciplinarios; la utilización de juegos de contraste de opiniones, como el IMPASSE; o el desarrollo de un proceso sistematizado de flujo de información como el Delphi, que permite alcanzar el acuerdo en un grupo multidisciplinar.

El uso de ordenadores ha puesto en marcha igualmente varios modelos de simulación de impactos como el K.SIM de tipo cuantitativo y el G.SIM de tipo cualitativo.

Igualmente, sistemas cartográficos como los desarrollados por McHarg, J.M. Tricart o M. Falke han sido desarrollados para colaborar en la identificación de impactos ambientales, permitiendo, en base a un sistema cartográfico, desarrollar una planificación del territorio que determine sus posibles usos.

#### 2.1. Modelos de predicción:

Una vez conocidos los principales factores ambientales y como podrían verse afectados por la ejecución del proyecto, es interesante predecir su situación al ejecutarse la obra proyectada. Existen varios métodos de simulación útiles para evaluar los efectos sobre el entorno de las diferentes acciones. El estudio de la inmisión atmosférica, la calidad del agua o del suelo, la vida en las costas... pueden ser conocidas mediante la utilización de modelos matemáticos. Dado que la explicación de estos modelos escapa a nuestra intención no se hace especial mención a ninguno de ellos.

#### 2.2. Evaluación de impactos:

Finalmente nos vemos en la necesidad de evaluar los posibles impactos ambientales obtenidos de la realización del proyecto; para ello existen dos tipos de metodología bien diferenciadas:

**Cuantitativas:** pretenden evaluar los posibles impactos ambientales mediante un valor numérico obtenido de aplicar fórmulas matemáticas a los efectos ocasionados por el proyecto.

**Cualitativas:** indican los posibles impactos ocasionados, clasificándolos de positivos o negativos; así como indicando sus magnitudes y comparándolos en las diferentes alternativas existentes.

Como ejemplos de evaluaciones cuantitativas de los impactos ambientales cabría citar el método de la Universidad de Georgia, basado en la metodología de Odum y resultante de agregar cincuenta y seis componentes ambientales. El método Hill-Schechter utiliza el balance coste-beneficio en su evaluación.

Sin duda, el método cuantitativo de evaluación que más se ha utilizado, y por lo tanto el más conocido, es el desarrollado por Battelle-Columbus por encargo de la Oficina de Reclamaciones por Ministerio de Interior de Estados Unidos para la gestión de recursos hidráulicos; sin embargo, con posterioridad se ha aplicado a otros proyectos muy diferentes y en numerosos países. Este método se basa en la definición de unidades de impacto a partir de setenta y ocho parámetros ambientales ponderados previamente.

Entre los métodos cualitativos cabe citar el método de Holmes y el de Fisher-Davies.

El método de Holmes pretende evaluar y comparar las alternativas que presenta un proyecto, incluida la no acción, clasificando por orden de importancia una serie de factores ambientales de forma cualitativa, dado que se basa en el hecho de que numerosos parámetros no son cuantificables. Este método permite la comparación de las diferentes alternativas en base a los diferentes parámetros clasificados.

El segundo método cualitativo mencionado, Fisher-Davies, evalúa de forma subjetiva el estado del entorno imponiendo un valor del uno al cinco a cada uno de los elementos del entorno, en función de su estado actual, su importancia relativa en el entorno y a la posibilidad de ser controlado. Todos los elementos introducidos en una matriz de compatibilidad, donde son relacionados con las actividades provocadas por el proyecto evaluando su efecto previsible del uno al cinco. Al agrupar las diferentes matrices de compatibilidad realizadas para cada una de las alternativas se construye una matriz de decisión que permitirá distinguir entre alternativas estructurales, no estructurales y de localización; esto nos permitirá tomar la decisión final frente al proyecto.

Como ha podido verse, las técnicas o metodología que pueden ser utilizadas en el proceso de valuación de impacto ambiental son muy diversas y cada una tiene sus ventajas e inconvenientes; es por eso que en la mayoría de las ocasiones y ante un proyecto concreto no será posible utilizar una única metodología, sino que será preciso generar una técnica híbrida que nos permita alcanzar el cometido final de la evaluación.

#### 2.4. Contenidos del Estudio de Impacto Ambiental.

Dado que la finalidad del estudio de impacto ambiental es aportar bases objetivas de análisis en el proceso de evaluación, es preciso que este documento sea sencillo y comprensible y que no se pierda en el estudio de parámetros que no tendrán ni recibirán ningún efecto.

Es por ello que el estudio debe estar continuamente retroalimentado y debería limitarse a ser un documento útil; para ello es preciso contemplar unos contenidos mínimos que los hagan de utilidad, pero igualmente con unos contenidos máximos.

El contenido definitivo del Estudio de Impacto Ambiental debe ser, por imperativo legal, el que marca el Reglamento aprobado por el Real Decreto 1131/1988; sin embargo, se ha observado que, en numerosas ocasiones, los objetivos con los que se completan estos contenidos no quedan cubiertos (Artículos 1º y 5º del Reglamento).

De acuerdo con R.D. 1131/1988, reglamento de R.D. de Evaluación de Impacto Ambiental, el Es.I.A. se define como: El documento técnico que debe presentar el titular del proyecto, y sobre la base del que se produce la Declaración de Impacto Ambiental. Este estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, y en función de las particularidades de cada caso concreto, los efectos notables previsibles que la realización del proyecto produciría sobre los distintos aspectos ambientales (efectos directos e indirectos; simples, acumulativos o sinérgicos, a corto, a medio o a largo plazo; positivos o negativos; permanentes o temporales; reversibles o irreversibles; recuperables o irrecuperables; periódicos o de aparición irregular; continuos o discontinuos).

Por lo expuesto, los contenidos específicos de cada estudio de impacto ambiental serán diferentes, incluso entre proyectos del mismo apartado del Anexo del Real Decreto Legislativo 1302/1986. También serán diferentes en función del proyecto concreto evaluado y su localización, debido a que los efectos ocasionados. En cualquier caso es preciso poder interrelacionar todos los contenidos del estudio.

La descripción del proyecto nos debe permitir identificar las acciones que éste ejercerá sobre su entorno, tanto en fase de realización como de funcionamiento normal o accidental así, como al finalizar su actividad.

El inventario ambiental debe permitir conocer las condiciones ambientales existentes en el entorno y que pueden verse modificadas por el proyecto; por eso no debe limitarse a un listado de especies y estratos geológicos; sino que los datos aportados deben poderse relacionar con la ejecución del proyecto.

Las interacciones existentes entre el proyecto y las condiciones ambientales nos permitirán identificar los impactos ambientales y valorarlos cualitativamente, dada la imposibilidad de evaluar cuantitativamente de forma objetiva parámetros como: la belleza, la tranquilidad, la existencia de una especie animal o vegetal, la vista placentera de un paisaje o la contemplación de un monumento. Todas las evaluaciones cuantitativas de estos parámetros serán subjetivas y por lo tanto no podrán ser procesadas matemáticamente.

Conocidos los impactos ambientales será posible proponer las medidas correctoras necesarias para reducir este impacto y planificarlas en el tiempo.

Únicamente de esta forma la Declaración de Impacto resultante del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental tendrá sentido y puede convertirse en un método de ordenación de las actividades humanas que permita la convivencia del hombre con su entorno en vez de quedar reducido a un trámite burocrático sin sentido, como desgraciadamente ocurre en muchas ocasiones.

### 3.- CARENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

El proceso de Evaluación de Impacto Ambiental es muy amplio y están implicados muchos sectores, promotor y técnicos, la autoridad sustantiva, la autoridad ambiental y, en general, los sectores sociales afectados y la sociedad en general.

Como instrumento que interviene en la toma de decisiones sobre un determinado proyecto o actividad, la decisión recae, en última instancia, en la Administración. Son los órganos ambientales competentes de las distintas administraciones públicas los responsables de valorar los estudios de impacto, la fiabilidad de la información que aportan, la validez de los criterios de evaluación y la pretensión de las medidas correctoras que proponen.

La reciente introducción en nuestro país de los Estudios de Impacto Ambiental (Es.I.A.) ha puesto de manifiesto la carencia de instrumentos y medios suficientes para garantizar el éxito del proceso de evaluación de impactos y el correcto cumplimiento de la Ley: R.D.L. 1302/86 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En primer lugar, cabe plantearse si se dispone de los RECURSOS LEGALES SUFICIENTES Y/O DE LA VOLUNTAD POLÍTICA NECESARIA para el control del Estudio de Impacto Ambiental y su posterior aplicación. A pesar de que el reglamento de la Ley de EIA (R.D. 1133/88 de 30 de septiembre) pretende recoger todos los aspectos implicados en el proceso, es evidente la poca efectividad conseguida, hasta el momento, en la ejecución de las medidas correctoras, el programa de vigilancia ambiental y los condicionados de las Declaraciones de Impacto exigidos por la propia Administración.

Uno de los problemas planteados es el control sobre el cumplimiento de las condiciones de la Declaración de Impacto Ambiental (aunque la responsabilidad de su cumplimiento es del organismo sustantivo).

La valoración de un Estudio de Impacto Ambiental, documento en el que teóricamente debe intervenir un equipo interdisciplinar, es un ejercicio complejo y altamente comprometido que exige disponer de un personal técnico altamente cualificado. En este sentido, es evidente la INSUFICIENCIA DE RECURSOS HUMANOS ADECUADOS, tanto en número como en preparación técnica, de los Órganos Ambientales de la Administración responsables de la evaluación de los EIA y de la aplicación de los mismos. Esto se traduce en la aprobación de estudios incompletos, con valoraciones dirigidas o, en el mejor de los casos, con datos de base incorrectos.

Como consecuencia de lo anterior, es obvio destacar la necesidad de **ADECUAR LAS PLANTILLAS DE PERSONAL** a las necesidades reales de cada Organismo de la Administración. Es preciso definir de forma clara los perfiles profesionales requeridos para estas plantillas, tanto en lo referente a su formación como a la experiencia necesaria para participar en los distintos niveles de competencias: decisión, evaluación y control.

Como anteriormente se ha comentado (apartados 1 y 2 de la ponencia) todo proyecto requiere un Estudio de Impacto Ambiental en el marco de la legislación vigente, aunque la variable ambiental debería ser introducida en las diferentes fases del proyecto. Este proceso asegura la adaptación y dinámica del proceso de evaluación. Es necesario, así, plantearse la definición de unas **NORMAS DE CALIDAD**, para la redacción de los Es.I.A. y las E.I.A., genéricas para todo estudio y proyecto, y adecuadas, específicamente, a su nivel -fase- de realización. Estas normas básicas no deberían pretender acotar ni técnicas ni criterios de evaluación, sino dictar unas exigencias tanto en la calidad de la información, el grado de definición de las distintas variables, impactos y medidas correctoras, como a las fuentes de documentación, escalas de trabajo y equipos técnicos implicados en el Es.I.A., siempre adaptados a los contenidos exigidos en la ley.

Es bien patente, por otro lado, la **FALTA DE RECURSOS MATERIALES** con que se enfrenta esta misma Administración. Desde unos presupuestos inadecuados a las necesidades reales y a la magnitud de la tarea a desarrollar, hasta una falta de recursos técnicos que permita avanzar en la problemática. De estos se citan los que hemos considerado de mayor relevancia:

- Faltan **CENTROS DE DOCUMENTACIÓN** adecuados. La información sobre el territorio y el medio físico donde se va a desarrollar un determinado proyecto o acción, la calidad y actualidad de la misma es un factor clave para la EIA y para el control de la misma. Este problema, con el que también se enfrentan los técnicos que realizan EIA, se convierte en un obstáculo grave cuando hay que valorar la validez de un determinado estudio. La información sobre el territorio español es escasa y está muy dispersa. Deberían promocionarse con carácter de urgencia centros de documentación que recogieran los datos disponibles sobre nuestro entorno, al mismo tiempo que se impulsan los estudios necesarios, desde cartografía básica, hasta mapas temáticos y actualización de datos.
- Promoción de los **SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.)** en los niveles de las administraciones nacional y regionales. El uso de estos SIG es de gran ayuda para la gestión del territorio.
- Promoción de **LÍNEAS GENERALES DE INVESTIGACIÓN** sobre temas relacionados con el conocimiento del entorno, su funcionamiento y sus respuestas a las distintas alteraciones que puede sufrir. Estas líneas de investigación deberían promocionarse a través de los "Planes Nacionales de

Investigación Científica". Esto permitiría disponer de técnicas y métodos de EIA adaptados a la realidad de nuestro territorio, en vez de utilizar técnicas de otros países cuyo medio ambiente suele ser muy distinto al nuestro.

Otro aspecto de gran importancia es el lugar que ocuparía nuestra UNIVERSIDAD dentro de toda esta problemática, tema que será tratado extensamente en otra de las ponencias de este Seminario. Parece claro, que es ésta a quien corresponde la FORMACIÓN DE TÉCNICOS cualificados, adecuados tanto a las necesidades de los Órganos Ambientales de la Administración como a los gabinetes técnicos y empresas relacionadas con el tema medioambiental.

Por otro lado y enlazando con el punto anterior, es la Universidad quien más puede aportar en cuanto a técnicas de investigación; su colaboración en el desarrollo de metodologías de evaluación de impacto es imprescindible para el desarrollo de las líneas de investigación a las que nos hemos referido.

No sería justo acabar este apartado sin considerar los condicionantes y limitaciones que son, en parte, responsables de todo lo citado anteriormente. La falta de tradición en nuestro país de una actitud de respeto hacia el medio ambiente (actitud que estamos aún lejos de conseguir) y la reciente incorporación a nuestro Derecho de los temas medioambientales exigen unas etapas de adaptación que requieren cierto tiempo. Sin embargo, nos preocupa la falta de una planificación clara de estos temas dirigida a solventar estas carencias de forma global, lo cual puede acabar originando un grave problema de inoperancia de los órganos ambientales.

Así pues, todo ello podría derivar en la transformación de los EIA en puros trámites administrativos -en algunos casos ya es así actualmente-, pudiendo servir finalmente para justificar cualquier aberración ambiental en una obra o proyecto, por el mero hecho de haber superado dicho trámite de impacto ambiental.

Sería necesario establecer un diálogo entre la Administración sustantiva y ambiental con los promotores profesionales y sus diversas organizaciones, universidades y organizaciones no gubernamentales que permitiesen llegar a definir los objetivos a alcanzar progresivamente, respecto a la aplicación de la EIA en España, teniendo en cuenta la situación en cuanto al marco de desarrollo económico del país, nivel de conocimientos actuales (información y preparación), pero esto es más, y en última instancia, un planeamiento político.

# El Patrimonio Geológico: un bien cultural en peligro

**Ernesto GALLEGO VALCARCE**

Ldo. en Ciencias Geológicas

**Angel GARCÍA CORTES**

Dr. Ingeniero de Minas

Area de Ingeniería GeoAmbiental

ITGE

*El Patrimonio Geológico, auténtica memoria de la evolución del Hombre y la Tierra,  
se ve amenazado por su escaso conocimiento y protección.*

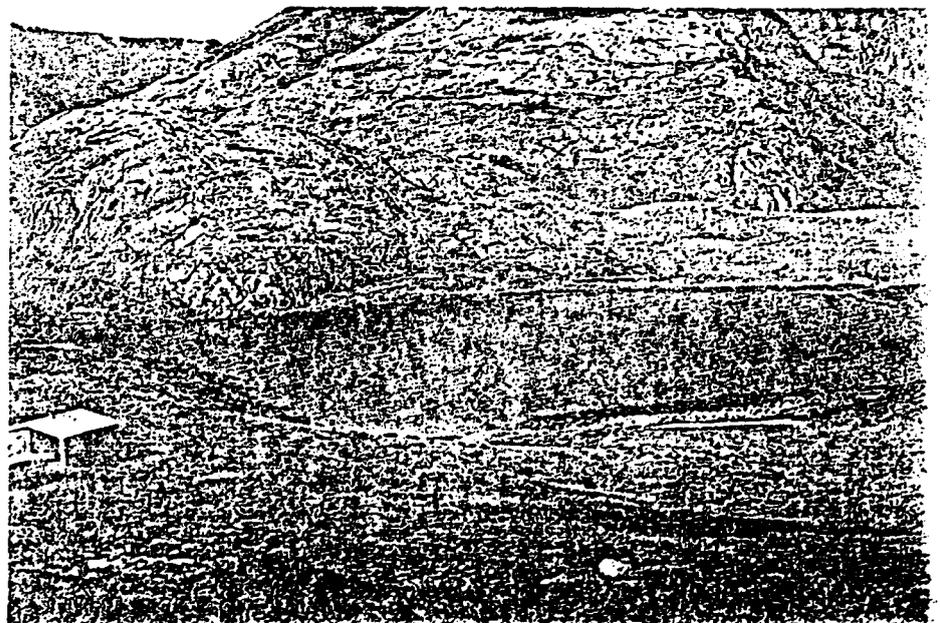
## Introducción

Las formaciones geológicas encierran singularidades de notable valor, por su belleza y su interés científico, didáctico o divulgativo. Estas singularidades constituyen un patrimonio cultural, que nos permite reconstruir los procesos geológicos, que han modelado nuestra planeta y han dado origen a nuestro medio ambiente actual y al hombre como especie.

La selección de estas singularidades, que conforman nuestro patrimonio geológico, se realiza según criterios entre los que destacan la tradición histórica o turística, la buena visualización, la comodidad de acceso, la especta-

cularidad, la expresividad y la excepcionalidad (ELIZAGA, 1989). De este modo su interés puede jerarquizarse en las categorías local, regional, nacional y supranacional. Las distintas tipologías de interés (geomorfológico, estratigráfico, sedimentológico, tectónico,

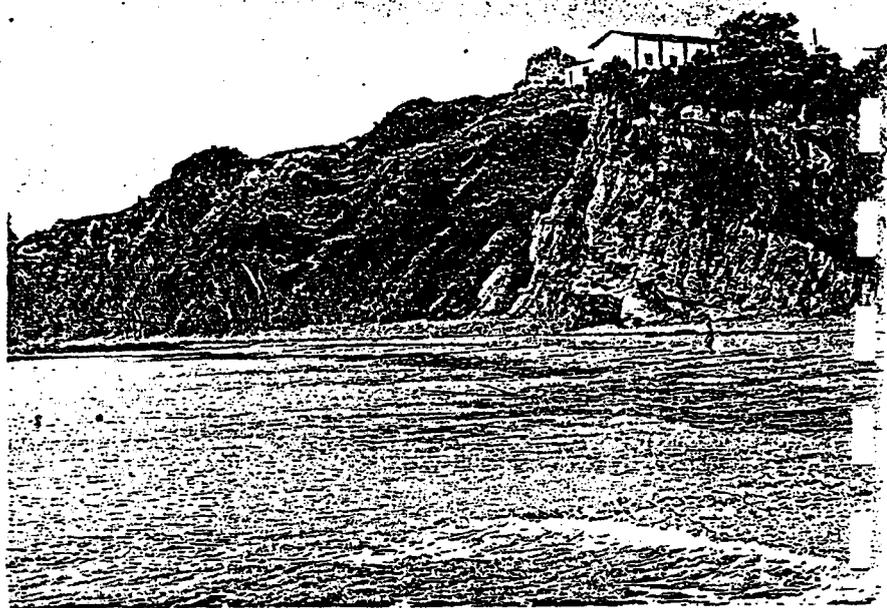
paleontológico, mineralógico, etc.) que las fotografías de este artículo intentan ilustrar, deben hacernos abandonar la restrictiva tendencia, ya superada, de identificar singularidades geológicas con yacimientos paleontológicos o mineralógicos.



*Lagos de Ibañeta - Puerto de San Esteban  
(León) hitores tectónico, estratigráfico,  
científico y didáctico.*

Pero en el patrimonio geológico concurren dos circunstancias que amenazan seriamente su adecuada conservación. Por un lado, se trata de un patrimonio constituido por elementos cuya destrucción es irreparable, dado su carácter no renovable. Por otro lado, en los servicios de protección de la naturaleza, por motivos de formación de sus técnicos, ha primado la conservación de las singularidades biológicas (flora y fauna) en detrimento de las geológicas, exceptuando quizá los casos de algunos paisajes protegidos por sus valores geomorfológicos.

Por todo ello urge dar a conocer, proteger y utilizar el patrimonio geológico en España, integrándolo en las propuestas de ordenación territorial.



Sección de San Pedro de Antromero (Asturias). Interés: estratigráfico, científico y didáctico.

Digne (1991), que reproducimos por primera vez en castellano, y que fue objeto de aprobación, por unanimidad, en la asamblea plena-

### Marco legal

No existe un marco legal específico sobre Patrimonio Geológico, aunque la entrada en vigor de la Ley de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestre (Ley 4/1989 de 27 de Marzo) puede y debe dar nuevo impulso a los trabajos de catalogación, inventario y protección, ya que en dos de las categorías en que se clasifican los espacios naturales aparecen claras referencias de dicho patrimonio:

#### Artículo 13

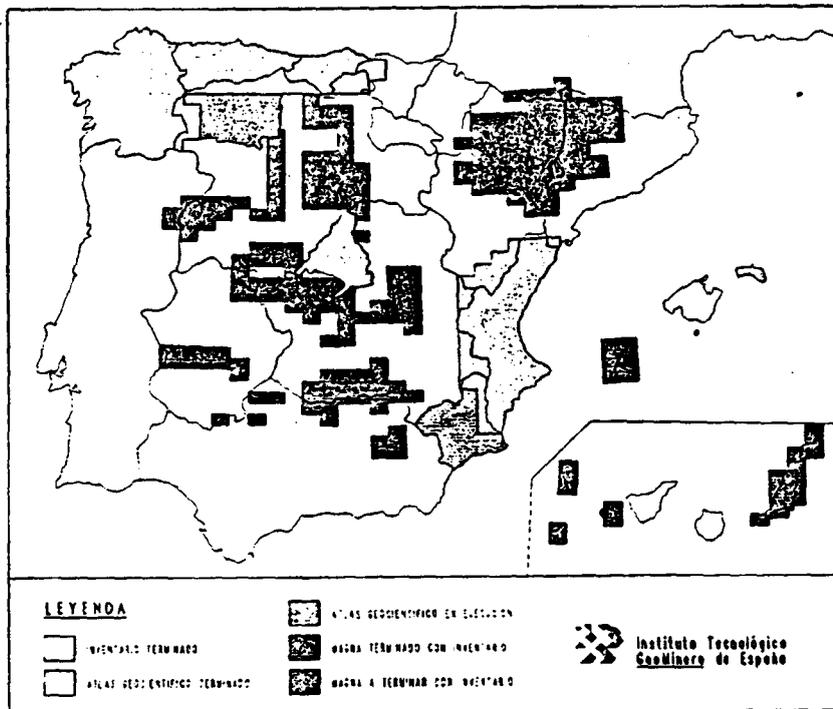
1.- Los Parques son áreas naturales, poco transformadas por la explotación u ocupación humana que, en razón a la belleza de sus paisajes, de su fauna o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos cuya conservación merece una atención prejerente.

2.- En los Parques se podrá limitar el aprovechamiento de los recursos naturales, prohibiéndose en todo caso los incompatibles con las finalidades que hayan justificado su creación.

3.- En los Parques se facilitará la entrada de visitantes e imponerá las limitaciones precisas para garantizar la protección de aquéllos.

#### Artículo 16

1.- Los Monumentos Naturales son espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente



Situación del inventario de puntos de interés geológico en España

Para alcanzar estos objetivos es imprescindible conseguir la colaboración y coordinación entre las instituciones y organismos competentes en ordenación del territorio, protección de la naturaleza y en el estudio e investigación de los recursos geológicos, asumiendo todos ellos los principios de la Declaración Internacional de

ría de clausura del 1º Simposio Internacional sobre Protección del Patrimonio Geológico, patrocinado por la UNESCO. Este Simposio, que reunió a más de 120 especialistas de treinta países, demostró el interés que, a nivel internacional, existe sobre la conservación y protección de este patrimonio en peligro.

mente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza, que merece ser objeto de una protección especial.

2.- Se consideran también Monumentos Naturales las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y demás elementos de la gea que reúnan interés especial por la singularidad o importancia de sus valores científicos culturales o paisajísticos.

Aunque se considera como positiva para la protección del Patrimonio Geológico, su desarrollo puede verse ciertamente enturbiado por el hecho de no incluirse el ITGE como organismo competente, ni siquiera a nivel consultivo, para la investigación, inventario, catalogación o cualquier otra actividad sobre dicho patrimonio. Sin ánimo de generar más comentarios sobre el tema esperamos que esta circunstancia sea subsanada en el reglamento de la Ley.



Garganta del Cares (Asturias). Interés: geomorfológico, turístico y didáctico.

en los inventarios, catálogos y cartas arqueológicas, su consideración, cuando ha existido, sólo en los casos en que aparecen relacionados con la historia del hombre y, en general, a un total predominio y subordinación a los estudios arqueológicos.

Esta falta de claridad en la Ley tiene su más clara expresión

ran los yacimientos paleontológicos como Monumentos Naturales.

La solución a esta situación parece difícil y depende de las distintas interpretaciones de los textos legales. Desde nuestro punto de vista la solución más viable sería dejar en el marco de la Ley de Patrimonio Histórico Español solamente los yacimientos relacionados con la historia evolutiva del hombre desde su aparición, siendo el resto objeto de estudio en el marco de la Ley de Conservación de Espacios Naturales.

### Desarrollo del Inventario Nacional de Puntos Singulares de Interés Geológico (1978-1990)

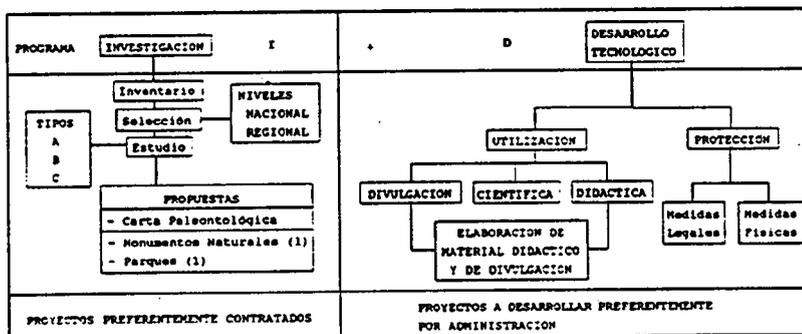
El primer inventario a nivel nacional de patrimonio geológico, con un amplio desarrollo metodológico, se inició en 1978 por el antiguo Instituto Geológico y Minero de España. De este inventario se esperaban los siguientes resultados:

- conocimiento de un patrimonio nacional, hasta entonces poco conocido y explotado.
- creación de archivos de documentación para investigación y estudio.
- conservación de este patrimonio, aunando esfuerzos.
- aprovechamiento, sistematizándola, de la gran cantidad de información recogida durante la ejecución cartográfica MAGNA a escala 1:50.000 y otras actividades geológicas.
- mejora del conocimiento y respeto de la Naturaleza.
- preparación de un material didáctico utilísimo para la enseñanza media y superior, y

#### ESQUEMA GENERAL PARA EL DESARROLLO DE LOS TRABAJOS DEL PROGRAMA NACIONAL SOBRE PATRIMONIO GEOLOGICO

(según un proyecto de E. Iturriz y E. Gortazar)

Fines: adecuar los programas de I+D en Geología Ambiental a las actuales demandas de protección y conservación del Patrimonio Natural, en el cual se incluye el Patrimonio Geológico.



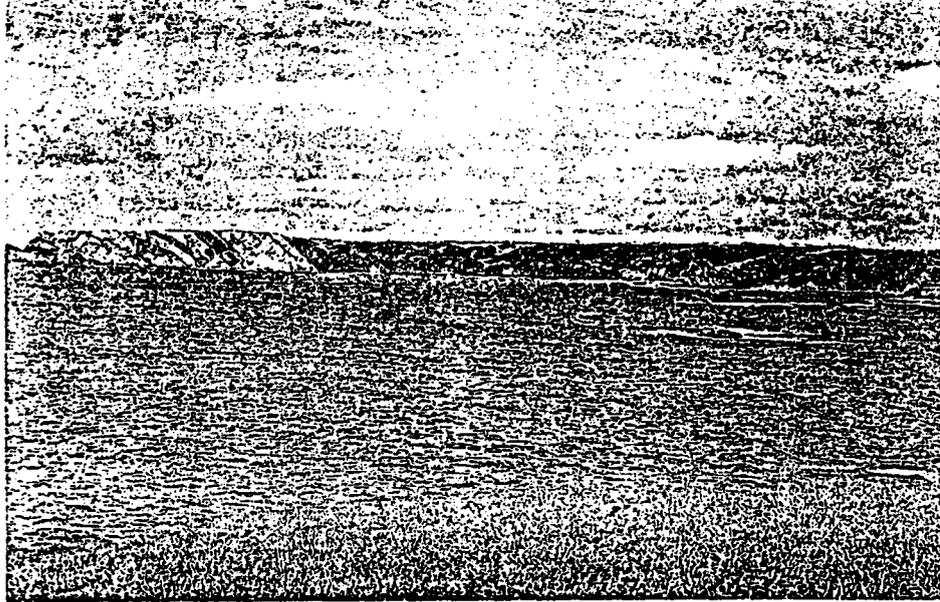
Tipos de Estudios: A.- Inventario Nacional de PIC, adaptado a la fase de desarrollo Tecnológico.  
B.- Adaptación del inventario desarrollado en las hojas 1:50.000, al Inventario Nacional  
C.- Otros estudios concertados con Comunidades Autónomas y otros organismos de la administración pública.  
(1) De acuerdo con la nomenclatura utilizada en la Ley 4/1989, de 27 de Marzo.

Respecto a la Ley 16 1985 de 25 de junio de Patrimonio Histórico Español (BOE nº 155 de 29 de junio de 1985, corrección de errores BOE nº 296 de 11 de diciembre de 1985), podría haber sido el marco legal adecuado para la protección de yacimientos paleontológicos. El resultado de su redacción equívoca, respecto a dichos yacimientos, ha tenido como consecuencia su práctica ausencia

en el desarrollo legislativo de las Comunidades Autónomas: sólo las Comunidades de Aragón y Castilla-La Mancha parecen hacer un trato diferencial para los yacimientos paleontológicos, mientras que otras muchas no hacen la más mínima referencia a dichos yacimientos. Esta situación puede agravarse si se tiene en cuenta que en la ley antes mencionada sobre Conservación de Espacios Naturales se conside-



Arrecife devónico de Arriau (Asturias). Interés paleontológico y científico.



Rasa de Cabo de Peñas (Asturias). Interés: geomorfológico, científico, turístico y didáctico.

fomento de la investigación de un conjunto de puntos de interés geológico, lo que llevará a un mayor conocimiento de nuestra geología y, en consecuencia, al hallazgo y mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales.

La metodología a seguir, una vez realizado un proyecto piloto previo en 1979, fue la siguiente:

- elaboración de un listado de colaboradores, cuyo fin era fa-

gos de cada singularidad y primera selección,

- selección de veinticinco singularidades para su estudio en detalle, con testificación a través de diferentes modelos de fichas soporte, y
- elaboración de una memoria general y otra dedicada a cada punto.

Los resultados correspondientes a este inventario, hasta 1988, se han sintetizado en el cuadro adjunto.

cada una de la hojas que se realizan desde entonces.

El conocimiento por parte de Comunidades Autónomas y Diputaciones provinciales de los trabajos realizados por el ITGE ha favorecido la colaboración entre estas instituciones para la elaboración y edición de Altas Geocientíficas del Medio Natural, en las cuales se incluye un capítulo dedicado a los Puntos de Interés Geológico, cuyo valor es el de su inventario, ya que las labores de estudio y descripción se han desarrollado, hasta la actualidad, según las tres vías antes descritas.

Un aspecto de especial interés es el tratamiento del Patrimonio Geológico en el ámbito regional y local, ya que en estos niveles administrativos radican, respectivamente, las competencias para elaborar las directrices generales de ordenación del territorio, y para elaborar y ejecutar los Planes Generales de Ordenación Urbana.

Destaca en el ámbito regional el caso del Principado de Asturias, donde los resultados obtenidos en el inventario nacional para esta región, fueron incluidos

PROYECTOS	Estudiad.	Selecc.	Diap.	Película S/8
1978: Estudio elaboración metodología general	22	100	500	12
1979: P.I.G. de Cantabria	22	68	400	15
1980: P.I.G. de Galicia oriental	22	68	400	20
1981: P.I.G. de la Cordillera Cantábrica occidental (sector meridional)	32	168	700	30
P.I.G. de Galicia occidental	20	120	600	20
1982: P.I.G. de la Cordillera Cantábrica occidental (sector septentrional)	25	68	500	20
1983: P.I.G. del Maestrazgo (Comunidad de Valencia)	25	150	500	25
1984: P.I.G. del Prebético oriental (Alicante)	25	100	500	25
Ampliación del P.I.G. de Asturias	25	168	600	25
1985: P.I.G. Zona Suroriental de la Cordillera Ibérica (Valencia)	25	90	600	25
1986-87: P.I.G. Isla de Menorca	25	75	400	25
<b>TOTAL:</b>	<b>234</b>	<b>889</b>	<b>4300</b>	<b>242</b>

cilitar, a través de una ficha general, el primer listado de singularidades,

- ponderación cuantitativa de la cantidad y calidad de los ras-

A partir de 1989 el Plan MAGNA, o programa de cartografía geológica a escala 1:50.000, incluye los trabajos de inventario de Puntos de Interés Geológico, para

en las Normas Urbanísticas Regionales en el Medio Rural, según resolución de 29 de diciembre de 1983 del Consejo de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medi-

Ambiente, quedando clasificadas estas áreas como suelo no urbanizable de Especial Protección; el número total de áreas incluidas en esta resolución es de 33.

Por otro lado, en el Planeamiento Municipal puede citarse el caso de Madrid, donde se incluyeron Areas de Interés Geológico, aprovechando la revisión que sobre el Plan existente se realizó al inicio de 1980 y que coincidió con un amplio proyecto sobre la geología, hidrogeología, geomorfología y geotécnica de dicho municipio, que incluía un área de trabajo dedicada a los recursos geológicos culturales.

La metodología utilizada, en este caso, fue una adaptación de la desarrollada por el ITGE en 1978 a las particularidades de un municipio y una gran urbe como Madrid.

Fue especialmente novedoso, en este proyecto, el desarrollo de la fase correspondiente al análisis de los criterios y formas de protección y conservación, tipologías, formas de uso e infraestructuras precisas, todo ello desarrollado a través de informes y reuniones con los responsables técnicos del Plan General.

Como consecuencia de estos trabajos algunas de estas áreas fueron incluidas en los Pla-



*Manto de Esla (León). Interés: tectónico, estratigráfico, científico y didáctico.*

nos de Protección y Servidumbres, y su inventario general en el Plano Catálogo de Elementos Naturales, dictándose condiciones generales para su protección en el tomo correspondiente de las Normas Urbanísticas.

### **Perspectiva del Inventario Nacional**

En la actualidad el ITGE, a través del Area de Ingeniería GeoAmbiental, pretende retomar

los trabajos y estudios sobre el patrimonio geológico, muy especialmente en lo que se refiere a:

- revisión conceptual y de metodologías de inventario y catalogación, a la luz de la nueva situación creada por la Ley de Conservación de la Naturaleza, y
- elaboración de un Plan de Trabajo, a largo plazo, a través de un programa I-D, cuyo esquema básico se incluye en el esquema adjunto, actualmente en fase de propuesta.

En cualquier caso, parece imprescindible tanto la adecuación a los marcos legales actuales como el estudio de los aspectos más concretos de protección, conservación y utilización, los menos desarrollados hasta la actualidad y que son imprescindible para una buena comunicación entre los técnicos en patrimonio geológico y los responsables en protección y planificación del medio.



*Sección de Agrados (León). Interés: sedimentológico y científico.*

### Bibliografía

ELIZAGA, E. 1989. Georecursos Culturales. In: "Geología Ambiental". ITGE. Serie Ingeniería GeoAmbiental. pp. 85-100. Madrid.

ELIZAGA, E., GALLEGO, E. y GARCIA-CORTES, A. 1991. Inventaire National des sites d'Interet Géologique en Espagne: Methodologie et Déroulement. 1er Simposio Internacional sobre Protección del Patrimonio Geológico. Digne (Francia)

ELIZAGA, E., GONZALEZ-LASTRA, J., PALACIO, J. y SANCHEZ DE LA TORRE, L. 1981. Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico. Sector Occidental de la Cordillera Cantábrica. Memoria del Proyecto. I.G.M.E. Madrid. (Inédito).

COMAS-RENGIFO, M.J., GALLEGO, E., GARCIA-JORAL, F. y GOY, A. 1984. Memoria del Area de Recursos Geológico-Culturales del Convenio de Colaboración Técnica y Cultural para el conocimiento de las características del suelo y subsuelo del Término Municipal de Madrid. Excmo. Ayto. de Madrid. Universidad Complutense. 237 pág. Madrid. (Inédito).



Agradecemos a D. Jaime Palacio Suárez (INYPSA) el aporte de las fotografías incluidas en el texto.



Cavernas de Vallecas (Madrid). Ejemplo de PIG de interés local.

### Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra

- 1.- *Del mismo modo que la vida humana es única, ha llegado la hora de reconocer la unicidad de la Tierra.*
- 2.- *La Tierra nos alberga; a ella estamos ligados y ella es vínculo entre cada uno de nosotros.*
- 3.- *La Tierra, con sus cuatro mil quinientos millones de años, es la cuna de la Vida, de la renovación y de la metamorfosis de lo vivo. Su larga evolución y su lenta maduración han conformado el medio ambiente en que vivimos.*
- 4.- *Nuestra historia y la historia de la Tierra están íntimamente ligadas. Sus orígenes son nuestros orígenes, su historia es nuestra historia y su futuro será nuestro futuro.*
- 5.- *El rostro de la Tierra y sus formas son nuestro medio ambiente. Este medio ambiente es distinto del de ayer y distinto del de mañana. El hombre representa un momento de la Tierra: no es finalidad sino tránsito.*
- 6.- *Del mismo modo que un árbol añoso guarda la memoria de su pasado... una memoria inscrita en las profundidades y en la superficie, en las rocas, los fósiles y los paisajes, una memoria que puede ser leída y traducida.*
- 7.- *Hoy día sabemos proteger nuestra memoria: nuestro patrimonio cultural. Comenzamos apenas a proteger el medio ambiente inmediato, nuestro patrimonio natural. El pasado de la Tierra no es menos importante que el pasado de la humanidad. Es hora ya de que ésta aprenda a conocerlo: es una memoria anterior a la memoria del hombre y un nuevo patrimonio: el patrimonio geológico.*
- 8.- *El patrimonio geológico es el bien común de la Humanidad y de la Tierra. Cada persona, cada gobierno no es más que el depositario de este patrimonio. Cada cual debe comprender que toda depredación es una mutilación, una destrucción, una pérdida irreparable. Cualquier forma de desarrollo debe tener en cuenta el valor y la singularidad de este patrimonio.*
- 9.- *Los participantes del 1º Simposio internacional sobre protección del patrimonio geológico, compuesto por más de un centenar de especialistas venidos de treinta naciones diferentes instan a todas las autoridades nacionales e internacionales para que tomen en consideración y protejan el patrimonio geológico mediante todas las medidas jurídicas, financieras y organizativas posibles.*

Escrito el 13 de junio de 1991 en Digne, Francia.

Antonio Cendrero Gerd Lüttig  
Fredrik Chr. Wolff (Eds.)

# Planning the Use of the Earth's Surface

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona

Budapest

**Editors**

**Antonio Cendrero**  
DCITYM, Division of Earth Sciences, Faculty of Science  
University of Cantabria  
Av. de los Castros. S/N, 39005 Santander, Spain

**Gerd Lüttig**  
Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Institut für Geologie und Mineralogie  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Schloßgarten 5, W-8520 Erlangen, FRG

**Fredrik Chr. Wolff**  
Geological Survey of Norway  
P. O. Box 3006, Lade, N-7002 Trondheim, Norway

"For all Lecture Notes in Earth Sciences published till now please see final page of the book"

ISBN 3-540-55353-3 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
ISBN 0-387-55353-3 Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in any other way, and storage in data banks. Duplication of this publication or parts thereof is permitted only under the provisions of the German Copyright Law of September 9, 1965, in its current version, and permission for use must always be obtained from Springer-Verlag. Violations are liable for prosecution under the German Copyright Law.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992  
Printed in Germany

Typesetting: Camera ready by author  
Printing and binding: Druckhaus Beltz, Hemsbach/Bergstr.  
32/3140-543210 - Printed on acid-free paper

## Reclaiming Areas Degraded by Mining Operations

by ERNESTO GALLEGO VALCARCE & LUCAS VADILLO FERNÁNDEZ \*

### Abstract

The current situation of reclaiming land affected by strip mining is discussed and the main environmental changes caused are mentioned. The various European laws and their most notable differences are compared. A cost estimate is made for reclaiming several mining operations in accordance with the type of operation and deposit characteristics and their effect on operation costs. Measures needed to control the environmental impact of abandoned mines, their technical possibilities and economic feasibility and a Basic Program for the possible execution thereof, are specified.

In conclusion, the territorial planning studies in which strip mining should be integrated are considered, making a distinction as to whether they are of a preventive or corrective nature.

---

\* Authors' address: E. GALLEGO VALCARCE, Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE), Area de Ingeniería Geoambiental, Rios Rosas, 46. 28003 Madrid, España.

## Introduction

Mining, together with agricultural and livestock activities and large urban agglomerations, gives rise to the anthropic landscapes most characteristic of human activity because of the large transformations involved with respect to the pre-existing medium and the contrast to the natural environment.

From the time flint stones from outcrops of river beds were used to make tools during the Lower Palaeolithic up to current mining activities involving advanced mining, mineralogical and metallurgical techniques, Man has carried out an uncontrolled and systematic exploitation of his mining resources. Particularly during the 19th and the beginning of the 20th century, mining activity achieved an unheard of productive scale with little consideration of integral resource management. One can speak of predatory use of both mining and other natural resources, which has been the result of successive technological revolutions taking place since the second half of the 18th century.

As in other industrial activities, mining activity has not remained untouched by the conservationist movements that began in the 1950s and 60s. Very differing social sectors called for the protection and conservation of nature, as well as for a more controlled economic development more in harmony with the surrounding environment. The relationship between education and the quality of life and the environment, along with the depletion of many mining resources, has given rise to the current process of geographic transfer of environmental problems from the Industrialized World to the Third World. It is there that mining companies are destroying the environment at alarming rates that threaten to defy international boundaries, even more so when this degradation takes place in very fragile ecosystems such as in tropical forests.

The current situation is formed by an attempt to rationalize exploitation of non-renewable natural resources, compelling the recovery of the medium degraded by extractive activities and promoting territorial planning that awards land-use according

its natural form. The most generalized technical-administrative instrument used worldwide is the environmental impact study supported by environmental standards for each type of activity and government. This includes recommendations from different international organizations (FAO, EEC, etc.).

The potential negative repercussions of mining activity can be summarized as follows:

- Contamination of surface and underground water.
- Variation of phreatic levels.
- Deviation or damming of river courses; change in flows.
- Induced flooding and appearance of surface seepage.
- Transformations in aquifer refilling areas.
- Emission of gases, dust and particles.
- Vibration and noise.
- Land loss and pollution; alteration of phreatic levels.
- Induced erosion and compacting.
- Decrease in productivity.
- Loss of associated flora and fauna; alteration of natural ecosystems.
- Morphological alterations with generation of hollows, clearings and slag heaps.
- Induced instability of natural and artificial slopes.
- Improper land-use after the activity is abandoned.
- Visual impact on the landscape, with changes in shape, volume and color.
- Changes in the ways of life of the affected or adjacent human population.

This brief list summarizes the most characteristic impacts of this activity and has been compiled from multiple impact identification sources developed to date. This list could be subdivided in accordance with the work phases (research, exploitation and abandonment) or the impact producing operations (land movement, vehicle traffic, building, treatment plants, etc.).

Many of the above-mentioned impacts disappear upon termination of the activity; the desolate aspect presented by the majority of mining zones when abandoned is, however, characteristic.

The disappearance of land, vegetation, fauna and flora, and the appearance of anthropic morphologies, in connection with dry climates such as the Mediterranean, does not favor natural restoration of the medium, but it also converts these areas into a center of extension of erosive and polluting processes for adjoining zones.

In view of this situation, the governments of many countries have made it obligatory to restore zones subjected to new extraction and to favor new policies and investment for restoring abandoned mining areas of historical nature. Reconditioning land affected by mining can be carried out by pursuing different objectives:

- Simply encouraging natural recovery when such conditions are present. This involves making the ground fit using various forms of treatments. The proper name would be reclamation.
- Restoring the preoperative aspects and features to zones in which conditions are not at all conducive to natural recovery. This always involves great technical, human and economic effort. Its proper name would be restoration.
- Encouraging ground uses that are compatible with the new situation in the zone, consistent with the general nature of the environment: rehabilitation.

Although the "ideal" strategy would be to "leave things as they were", this should not be considered the only solution, nor should restoration be considered an added cost: existing costs. Possible use of these zones for suitable projects and construction, such as for sports, recreational and leisure activities or agricultural and forest use, have proved to have subsequent economic profitability.

They may also be good places for disposing of urban waste, thus demonstrating an interest in environmental management and also encouraging the morphological recovery.

of the old operation with these activities. Likewise, siting bothersome industries or installations in quarries and large hollows has also favoured a landscape protection policy.

Finally, the use of old mines as a storage site for toxic, dangerous and radioactive waste or natural gas is perhaps the most noteworthy application.

### Current Situation

Restoration of areas degraded by mining was not begun in Spain until 1981, when Law 12/1981 was enacted by the Generalitat de Catalunya regarding protection of places of natural interest affected by extractive activities. Subsequently, Royal Decree 2994/82 was enacted regarding restoration of natural locations affected by mining activities binding the rest of the nation. In other words, Spain belatedly entered into reclamation of areas affected by mining activities, especially compared with the other countries of the EEC. Even after enactment of R.D. 2994/82, the participation of mine operators in land restoration has at best been scant excluding public firms and some private coal firms (with their own legislation: R.D. 1116/84. Due to the lack of precedents and of technical and human resources of the Mining Services, this discipline has been taken on very slowly and with great reservation on the part of these operators who see restoration as only one more expense in their operating costs. The very ambiguity of Royal Decree 2994/82, which in practice is not being carried out, makes it difficult to put it into effect, since one of its main faults is the absence of reclamation followup, with the exception of the legislation on coal mining reclamation patterned on British legislation. In Great Britain, the Town and Country Planning (Minerals) Act, 1981, lays down the followup and care of revegetation for a period of 5 years, with a special emphasis on compacting fill, improving draining, ground structure and ground fertility. Since a large portion of Spanish territory involves semiarid or arid climates, this legal aspect is very important because the healing rate is very low and, thus, endangers maximum revegetation when left without care or protection.

On the other hand, there has been no territorial planning infrastructure to enable the evaluation of different natural resources that can come into conflict, mainly with respect to ground classification from the standpoint of fertility, susceptibility to erosion, landscape, etc.

There have also not been any initiatives by the government and corporations to date to create funds to provide for the restoration of abandoned operations or ones that for some reason have not been able to be restored, as for example, the fund in France to the steering committee of the parafiscal tax on granulated material, which helps to reclaim abandoned aggregate exploitations, and provide funding for investigation of resources, replacement materials, etc.

Another important aspect is the loophole to the Mining Law tacked on by the M.O.P.U. (Ministry of Public Works and Urban Development) which frees railroad and highway leasing works (Recourses of Section A), directly performed by the M.O.P.U., from requiring an exploitation permit and thus from carrying out restoration in this type of quarry. The enactment of Legislative R.D. 1302/1986 on **Evaluation of Environmental Impact (E.I.A.)**, and R.D. 1131/1988, which clarifies the former, can and should improve integral management of natural resources, whereby Spain follows the EEC Guideline 85/337/CEE on the **Evaluation of the Environmental Impact of Certain Public and Private Works**. By way of example, it can be indicated that while the average price of reclamation in exploitations of natural aggregate is 600,000 pesetas/hectare with an incidence of 0.5 % on tonne sold; in the case of coal it is 1,800,000 ptas./hectare and 800,000 ptas./hectare, depending on whether or not there is hydrosowing, with an average incidence of 0.6 % on MT sold. These costs are not insignificant and contradict those who consider restoration to be only a measure that runs counter to development in the mining industry.

## Reclamation Engineering; Implementation Programs

The impact of mining activities on the environment depends on the interrelationship of several factors, such as size of the operation, location, physical characteristics of the environment, type of mineral, operating method, transformation processes, technology used, infrastructure created, socioeconomic site aspects, etc. The most detrimental impacts on life in the area are those that directly affect the trophic chains, such as physical and chemical water pollution, the former with its increase in turbidity of water courses that affect fish life and the latter with the resulting acidity and toxicity of the heavy metals, mainly metallic, that are inherent in mining. The effect produced by chemical pollution in the soil due to leaching produced by intermittent water courses or slag water does not seem to be as serious, due to the absorption effect of clay restricting mobility of metallic ions. Therefore, it has less of an effect in drier climates such as in most of Spain.

The mining repercussions that indirectly affect the trophic chains and directly cause morphological changes would be the effects of sedimentation in river channels and erosion processes.

Reclamation of water courses affected by these two mining processes is slow but technically feasible. The solution is based on locating the centers of pollution and reclaiming them, by treating and sealing off the focus of pollution; and on-site, subsequent follow-up using water, sludge and aquatic plant samples. In some cases, it may be necessary to clean sludge loaded with heavy metals or install hydraulic works that could be large engineering projects, for they could affect the filling up of bays with changes in coastal dynamics.

In the case of erosion-sedimentation processes caused by deforestation, changes in natural drainage, etc., reclamation could be carried out by means of ground treatment techniques, reforestation techniques, etc.

Other impacts, such as scenic changes and their integration into the natural landscape, depend on the type of mining, and here we can focus on two principal cases: quarries with large hollow formations and metal and coal mining.

In the majority of strip mining cases and mainly in quarries, where there is a higher rate of technical and economic insolvency of the operators, the absence of a planned operating project and at times the inexistence of minimum research projects and economic profitability studies and disregard for drilling and blasting techniques, have at times resulted in designs with only one very high hollow, in some cases 80-100 m of height in hard rock. This in no case aids in reclaiming these quarries.

In metal and coal mining, with their large slag heaps both from felling and from interior and panning areas, the main problem lies in the large volumes to be moved to reconcile and reclaim these landscapes.

In the first case of quarries with hollow formations, the adjustment of slopes with replanting of vegetable species, mainly trees, to minimize the scenic impact, involves retrenchment of the front of the quarry. This would entail very high drilling and blasting expenses, in addition to increasing the impact on the landscape, replanting of suitable vegetable species and maintenance thereof, at least for the first several years, and the risk of being too difficult. The easiest and cheapest solution is to use these sites, following a geomechanical and stability study, as rubbish dumps or recreational areas with a road infrastructure and some scenic restoration of slopes with climbing and hanging plant species. These measures could be undertaken at a provincial and even municipal level.

In the second case of metal and coal mining with large slag heaps, studies made by the ITGE estimate that land movement could involve costs amounting to 14.800.000.000 pesetas just in the province of León alone. This does not take into account the reclaiming of rivers, streams and lakes polluted by metal and coal mining.

These budgets can only be undertaken by the regional or the federal government.

In both cases, a program in which the following basic objectives are undertaken would be necessary:

1. **Inventory of operations and mining waste**  
(Prior to Royal Decree 2994/82) (Partially performed by the Inventory of Pools and Slag Heaps. ITGE),
2. **Environment reclamation plans**
  - Current situation of water courses and reclamation thereof.
  - Integration of mining shafts within the master plans for inert, solid urban toxic and dangerous waste,
  - Integration of mining structures (quarries, slag heaps, sludge pools, installations, etc.) within the territorial planning plans.
3. **Creation of public organizations**  
By means of a tax on each tonne sold, these organizations would undertake the task of investigating mining reserves, restoring old, abandoned zones and researching the reuse and new applications of mining waste and quarry barrens.
4. **Fiscal deductions**  
These would be offered to those mining firms that undertake the reclamation of old, abandoned zones in the concessions they request.

### **Mining and Environmental Reclamation Studies Applied to Territorial Planning**

The rational exploitation of natural resources recommended by several international organizations and the minimization of environmental impacts occurring is best aided on many occasions by application studies on territorial planning analyzing all those parameters (resource, environmental impact, economic, social) inherent to any extractive activity, as well as the subsequent restoration of the medium.

In general, these studies can be divided into two large groups:

- A) Those of corrective nature -- applied to historical mining zones that are totally or partially abandoned to which the different restorative laws in force are not applied. As a last resort, their purpose is to encourage investment programs that can be undertaken by different governing bodies on the basis of precise knowledge of the specific environmental situation of this area.
- B) Those of preventive nature -- they are to be applied to zones of great mining interest in the research or initial operating phase, especially if the current land-use or natural form is obviously incompatible with extractive activities. In this case, the ultimate objective of these studies will be activity planning aimed at maximum, compatible exploitation of the different resources, minimizing the negative or undesirable effects that could arise.

The following is a schematic description of the phases and contents of the two types of studies under consideration.

#### **Corrective Studies**

In Spain these would be applied to historical mining zones abandoned before 1982, which, therefore, do not fall within the scope of the Royal Decree 2994/1.982 on reclamation of natural locations affected by mining activities, or Royal Decree 1302/1.986 regarding environmental impact evaluation.

Objectives: Define the technical basis for an environmental reclamation program of an area affected by old extraction.

Identification of scope: In the last resort, this will depend on the governing body in charge, normally a regional or autonomous one involving several municipalities.

Delimitation of boundaries of maximum extraction. These are easy to identify with existing maps of extractive activities, with cartographic delimitation of lithostratigraphic units of mining interest, or with photographic interpretation.

Environmental inventory diagnosis. In this phase, detailed data on each exploitation is obtained. The most common technique is to use data support cards, especially if computer support is available. In addition to general administrative data, these cards will contain the characteristics of the operation and its surroundings, identification of impacts, evaluation of these impacts, corrective measures and recommended uses. The diagnosis phase is extended to the social, economic and environmental features of the area involved in the extractive activity, and a sufficiently extensive environmental inventory is prepared to characterize all important parameters on different scales (geology, geomorphology, soil and vegetation, land uses, unique areas of natural interest, urbanistic qualification, etc.).

Definition of Typologies. In a study of regional scope, it is essential to define typologies to help analyze investment and priorities.

These typologies can be defined by the type of operation, identification of basic impacts or possibilities of restoration. Experience shows that in the close relationship between the three possibilities, size is the only distinguishing factor within similar types of operations involving similar impacts and reclamation processes.

Definition of basic reclamation criteria. An analysis according to typologies of reclamation possibilities, parameters and basic techniques allows for a greater approximation of the economic cost evaluation and the definition of priorities within a program.

A feasibility analysis of the reclamation, the priority plan and an approximation of the actual process costs will make it possible to define a long or medium-term environmental reclamation program.

### Preventive Studies

In the case of Spain, these studies, sponsored by local or regional governments, have the legal support of the mining legislation proper, of the land law that acknowledges the preparation of special plans whose purpose is to "protect the landscape, means of

communication, land, and urban, rural and natural environment", and of several autonomous regulations referring to matters of protection and conservation of the environment.

- Objectives: Planning of extractive activity and drafting of basic reclamation criteria aimed at maintaining existing ecosystems or proper land-use once the extractive activity has been completed.
- Study of mining feasibility and exploitation quality. Delimitation of zones with different levels of mining interest. It is logical to assume that the planning study will be applied to an area with an important background of mining research, deemed positive in that a quality and quantity exist that justify its exploitation, and also that it is necessary to delimit the area more precisely according to levels of interest. These levels of interest should refer not only to intrinsic resource quality criteria, but also to economic extraction cost criteria.
- Diagnosis. Environmental inventory. Study of restrictive elements of the extractive activity. Conflict maps:  
The diagnostic phase prior to the evaluation of the anticipated environmental impacts can be developed by following now classic criteria such as those set forth in Guideline 85/337/CEE on evaluation of environmental impact: "*description of environmental elements liable to be notably affected by the proposed project*" (population, flora, fauna, land, air, climate, etc.).  
Knowledge of the area's elements and the uses most consistent with the natural form of the land will make it possible to know the factors limiting extractive activity and to make conflict maps. These maps should be understood as the cartographic representation of zones in the territory whose natural form may be contradictory to other proposed uses, or that the uses are simply incompatible a priori and come into conflict with each other.
- Guideline maps for land use: This phase corresponds to a more exact definition of

the zones that should not be used for extractive activity, zones recommended for extractive activity, and alternative or standby zones for subsequent extraction phases. Finally, the criteria and basis for the reclamation to be carried out in the region shall be indicated, following some guiding standards that prevent imbalances from one zone to another.

It is logical to assume that this map preparation may respond to purely technical criteria of the team making them and may have a certain amount of subjectivity or a combination of technical and political criteria, the latter being those that take priority in the end. The foregoing in no way distorts the performance of these application studies in territorial planning; on the contrary, it permits more extensive knowledge of the zone and the proposed activity, it facilitates discussions between the interested parties regarding the scientific basis, or at least the most objective bases, and in the end it aids in the integration of environmental variables in the policy decision-making process.

#### References

- [AYALA, F.J.] (1989): Legislación Ambiental aplicable a la Minería. Nacional, Autonómica y Comunitaria.- 307 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1986a): Bases para la Ordenación Minera y Ambiental de las extracciones de Picón en Las Canarias.- 81 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1986b): Estudio geoambiental para la Restauración del Espacio Natural afectado por las explotaciones de carbón en las cuencas palentinas.- 65 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1987): Criterios Geoambientales para la restauración de canteras graveras y explotaciones a cielo abierto en la Comunidad de Madrid.- 86 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1988): Programa Nacional de Estudios Geoambientales aplicados a la minería. Provincia de León.- 234 pp., Madrid (ITGE).

- AYALA, F.J. et al. (1989a): Programa Nacional de Estudios Geoambientales aplicados a la minería. Comunidad Autónoma de Valencia.- 204 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1989b): Programa Nacional de Estudios Geoambientales aplicados a la minería. Comunidad Autónoma de Navarra.- 170 pp., Madrid (ITGE).
- AYALA, F.J. et al. (1989c): Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería.- 321 pp., Madrid (ITGE).
- BASCONES, M. & GALLEGU, E. (1986): Análisis y criterios de restauración para áreas degradadas por antiguas explotaciones en la Comunidad de Madrid.- In: MOPU-CEDEX: Curso sobre Geología Ambiental.- 16 pp., Madrid.
- [CAIRNEY, T.] (1987): Reclaiming contaminated land.- 260 pp., London (Blackie & Son Ltd.).
- DIAZ DE TERAN, J.R. & GONZALEZ LASTRA, J.R. (1980): Un método de evaluación y de jerarquización de los afloramientos de rocas industriales.- I Reunión Grupo Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Vol. Comunicaciones: 1-20, Santander.
- FERNANDEZ, R., FERNANDEZ, S. & ARLEGUI, J.E. (1986): Abandono de mina Impacto hidrogeológico.- 267 pp., Madrid (IGME + ETSIM).
- GARCIA, J.J., MURAI, J. & OSBORNE, J. (1985): Guía para la restauración del Medio Natural afectado por explotaciones de canteras.- 117 pp., Madrid (IGME).
- [GENERALITAT DE CATALUNYA] (1987): Recomendaciones técnicas per la restauración i condicionamento de los espais afectats per activitats extractives. 421 pp., Barcelona (Dir. Pol. Terr.).
- GRIGG, C.F.J. (1988): Landscaping Techniques and Restoration.- Rev. Ming. Mag. 198 492-497, London.
- GURS, P. (1988): Vert-Le-Grand: Les déchets entrent dans le carrière.- Rev. M. Carrières 70: 36-40, Paris.
- [HARRIS, J.R.] (1983): Approval of State and Indian Reclamation Program Grants Under Title IV of the Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977.- 268 p. Washington D.C. (US Dept. Int.).
- HYDRO, M. (1987): Essai d'aquaculture dans une carrière en eau: cas de l'expérimentation du Teoula en région Midi-Pyrénées.- Industr. min., Mines Carrières 69: 261-264, Paris.

- [INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA] (1985): Guía para la restauración del medio natural afectado por explotación de canteras. - 117 pp., Madrid (IGME).
- (1986 a): Estudio geoambiental para la restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbon en las cuencas palentinas. - 65 pp., Madrid (IGME).
- (1987): Criterios geoambientales para la restauración de canteras, graveras y explotaciones a cielo abierto en la Comunidad de Madrid. - 86 pp., Madrid (IGME).
- (1988 a): Minería y medio ambiente. - 19 pp., Madrid (IGME).
- (1988 b): Investigación de factores ambientales en labores mineras. Diseño de experiencias piloto de revegetación en canteras y sus escombreras. - 255 pp., Madrid (IGME).
- [INSTITUTO TECNICO Y GEOLOGICO DE ESPAÑA] (1989 a): Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería. Comunidad Autónoma de Valencia. - 204 pp., Madrid (ITGE).
- (1989 b): Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería. Comunidad Autónoma de Navarra. - 170 pp., Madrid (ITGE).
- (1989 c): Legislación ambiental aplicable a la minería nacional, autonómica y comunitaria. - 307 pp., Madrid (ITGE).
- (1989 d): Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería. Provincia de León. - 234 pp., Madrid (ITGE).
- LYLE, E.S. (1987): Surface mine reclamation manual.- 268 pp., Amsterdam (Elsevier).
- LYLE, V.A.S., YAZICIGIL, H. & CARLSON, C.L. (1983): Surface Mining. Environmental Monitoring and Reclamation Handbook.- 750 pp., Amsterdam (Elsevier).
- LÜTTIG, G. (1986): Ressources et reserves en sables et gravières en Europe.- Bull. Assoc. intern. Géol. de l'Ing. 33: 27-30, Paris.
- [LOPEZ JIMENO, G.] (1985): II Curso sobre las alteraciones en el Medio Ambiente y la restauración de terrenos en minería a cielo abierto.- 339 pp., Madrid (Fundación Gómez Pardo).
- ORDOÑEZ, S. et al. (1986): Curso sobre el Impacto Ambiental del aprovechamiento de los recursos minerales.- 214 pp., Madrid (Asociación de Geólogos Españoles).
- ORDOÑEZ, S. & CALVO, J.P. (1981): Impactos derivados de las explotaciones de recursos, minería de minas metálicas y rocas industriales.- In: MOPU-CEOTMA: Geología y Medio Ambiente: 341-354, Madrid.

## **ESTABILIZACION Y CONTROL DE UN GRAN DESLIZAMIENTO EN ROCAS LUTITICAS.**

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis I. Univ. Complutense.  
BELTRAN DE HEREDIA ARTADI, Fernando J. Prospección e Ingeniería.  
FERRER GIJON, Mercedes. I.T.G.E.

### **RESUMEN**

Se presenta el estudio de un deslizamiento de más de un millón de metros cúbicos que afectó a la estabilidad de una excavación sobre rocas blandas lutíticas. A lo largo de casi tres años se siguió su evolución y se controlaron los movimientos, al mismo tiempo que se investigó el comportamiento del macizo y las condiciones de estabilidad, utilizándose los métodos de esfuerzo deformación y de equilibrio límite. Los criterios seguidos para estabilizar el talud se han basado en el análisis de la evolución de los movimientos de la ladera y su respuesta ante las medidas de control. Se analizó la eficacia de dichas medidas en función de su influencia en el factor de seguridad, coste y respuesta real del talud.

### **INTRODUCCION.**

En una explotación minera situada al norte de León, se realizó un gran desmante sobre una ladera con el fin de disponer de una plaza para las nuevas instalaciones mineras. Esta excavación reactivó un antiguo deslizamiento que movilizó una masa de más de un millón de metros cúbicos. Las dimensiones aproximadas del talud inestable fueron de 120 m de altura, 300 m de ancho y 350 m de longitud (Figura 1).

El deslizamiento fue investigado mediante sondeos, inclinómetros, piezómetros y reconocimientos geofísicos (Carbó et al., 1992). Se determinó la profundidad y forma de las superficies de deslizamiento, presiones intersticiales y el mecanismo de rotura. El estudio incluyó la caracterización geomecánica de los materiales y su comportamiento, con el fin de analizar las condiciones de estabilidad.

A lo largo del período 1990-1992 se llevó a cabo un seguimiento permanente de movimientos en la ladera, básicamente medidas taquimétricas, inclinometría, piezometría, registro de precipitaciones y aforos en drenes. El objetivo de los trabajos fue la ejecución de medidas que evitaran el avance del deslizamiento hacia la plaza.



Figura 1: Vista general de la ladera inestable y de las roturas (junio de 1990).

## CONDICIONES GEOLOGICAS Y GEOMECANICAS.

La ladera se encuentra sobre un sustrato carbonífero muy plegado, limitado por varios anticlinales y sinclinales de alcance regional, afectados por numerosas fallas.

En el emplazamiento afloran coluviones arcillosos y una alternancia de lutitas, limolitas y areniscas con alguna capa de carbón. La estructura forma parte del flanco de uno de los anticlinales regionales, disponiendo a las capas con buzamientos muy variables, en general altos, entre 45 y 90°. El propio talud está afectado por dos fallas de buzamiento superior a los 50 grados, y es característica la abundancia de repliegues de pequeño tamaño (Figura 2). En general, la estructura es transversal al talud, no identificándose una relación entre orientación de capas e inestabilidad.

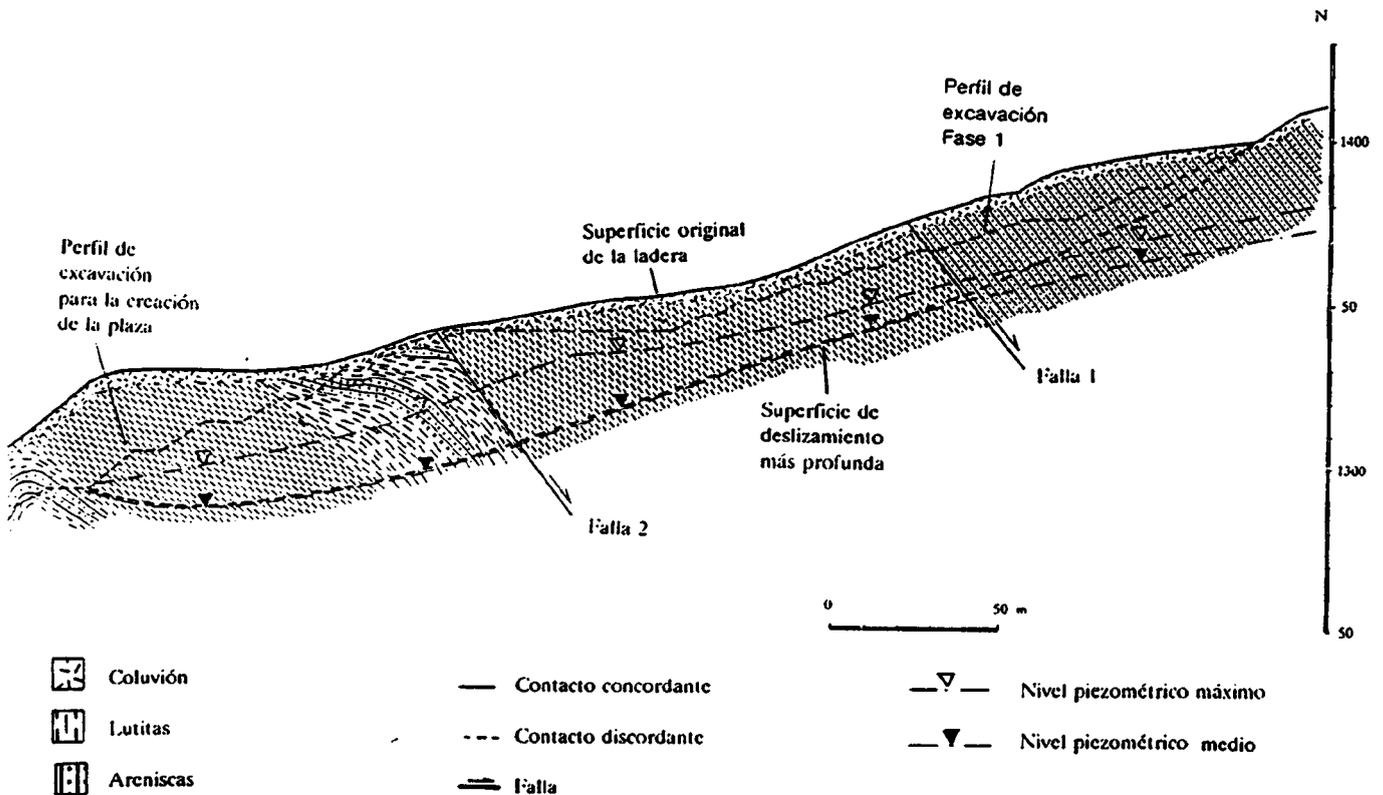


Figura 2: Esquema geológico.

Bajo el punto de vista geomecánico, los materiales presentan una fuerte anisotropía dada la pizarrosidad y el alto ángulo de incidencia de ésta. La densidad media tanto de las lutitas como las areniscas está comprendida entre 2.6 a 2.7 t/m<sup>3</sup>. La resistencia a compresión simple en lutitas determinada en ensayos con máquinas convencionales (blandas) osciló entre 150 y 700 Kp/cm<sup>2</sup> y en las areniscas entre 130 y 900 Kp/cm<sup>2</sup>. En máquinas rígidas servocontroladas la resistencia de las lutitas osciló entre 25 y 60

Kp/cm<sup>2</sup>, estando estos resultados en conformidad con el comportamiento observado en este tipo de rocas y, por tanto, no siendo representativos los obtenidos en ensayos con prensas "blandas" (Ferrer y González de Vallejo, 1991). Los módulos de deformación medios para las lutitas estuvo comprendido entre 20.000 y 50.000 Kp/cm<sup>2</sup> y las areniscas entre 25.000 y 900.000 Kp/cm<sup>2</sup>. El coeficiente de Poisson fue de 0.24 para las lutitas y de 0.26 para las areniscas.

### **SUPERFICIES DE ROTURA Y CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS.**

Los sondeos, inclinómetros, geofísica y datos de superficie permitieron situar las superficies de rotura (Figura 2). La más profunda se sitúa entre 16 y 36 m de profundidad, con una media entre 25 y 30 m, definiendo una forma bastante planar con mayor curvatura en la zona de pie. Tanto la zona de cabecera como la salida del citado plano en el pie se pudo observar en superficie (Figura 3).



**Figura 3:** Detalle de la salida del plano del deslizamiento en la zona del pie del talud (agosto de 1990).

En los sondeos se identificó el plano de deslizamiento como una brecha de matriz muy arcillosa con cantos de lutita y arenisca, con espesor a veces superior a 1 m, atravesada por múltiples espejos de fricción de superficies muy pulidas, y aspecto en general muy triturado.

Bajo el punto de vista hidrogeológico los materiales son permeables por fracturación y de hecho la ladera drena abundantes caudales de agua de circulación subterránea. Existen manantiales de caudal continuo, con aforos de 7 a 80 l/min cerca del pie de la ladera. La circulación se efectúa tanto a favor de las fracturas como a través del propio plano de deslizamiento. El nivel piezométrico se sitúa sobre

dicho plano de deslizamiento, sufriendo fuertes oscilaciones ante las precipitaciones, llegándose a medir alturas de más de 10 m por encima de dicho plano.

### EVOLUCION DEL PROCESO DE ROTURA.

Las primeras señales de inestabilidad se manifestaron en abril de 1990, abriéndose grandes grietas en cabecera y propagándose posteriormente a lo largo de roturas y deformaciones longitudinales y transversales en toda la ladera, incluso rompiéndose el pie del talud con salida del mismo en junio del citado año. Ante el peligro evidente de una rotura masiva sobre la plaza, se iniciaron las primeras medidas correctoras en julio de 1990, consistentes en el descabezamiento de la parte alta del talud, e instalación de drenes de tipo californiano. En la figura 4 se muestra el perfil retaluzado de la ladera, que supuso un volumen de excavación del orden de 390.000 m<sup>3</sup> (Fase 1<sup>a</sup>).

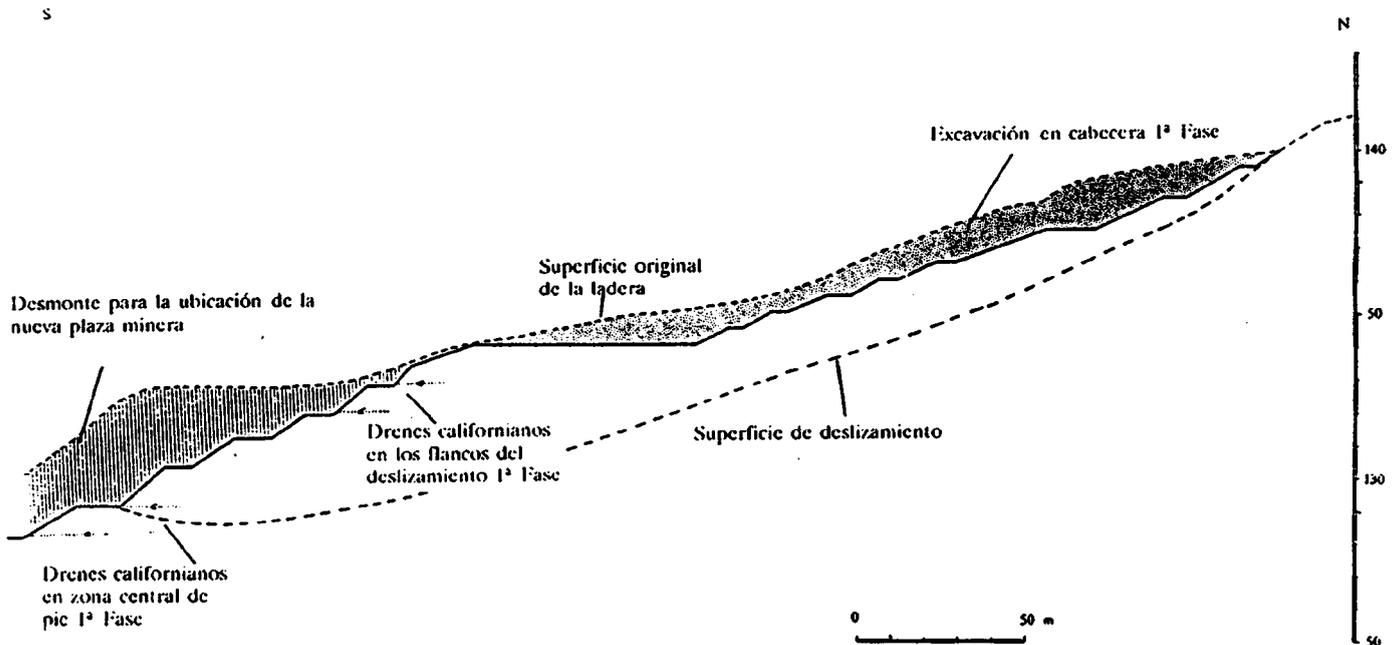


Figura 4: Medidas de estabilización Fase 1<sup>a</sup>.

Como consecuencia de estas medidas de estabilización (Fase 1<sup>a</sup>), se observó una importante desaceleración del movimiento de la ladera, según se muestra en la figura 5, en donde se empiezan a acusar estas medidas a partir de agosto de 1990.

En la curva de evolución de la rotura se destaca claramente la relación entre las precipitaciones y la magnitud de las deformaciones, incrementándose consecuentemente las medidas de drenaje. A lo largo de 1991 se instalaron 42 nuevos drenes californianos con una longitud total de 936 m y se perforaron 4 pozos de drenaje de 1.5 m de diámetro y 16-17 m de profundidad. Durante 1992 se continuó con la instalación de 21 drenes más, con una longitud total de 716 m.

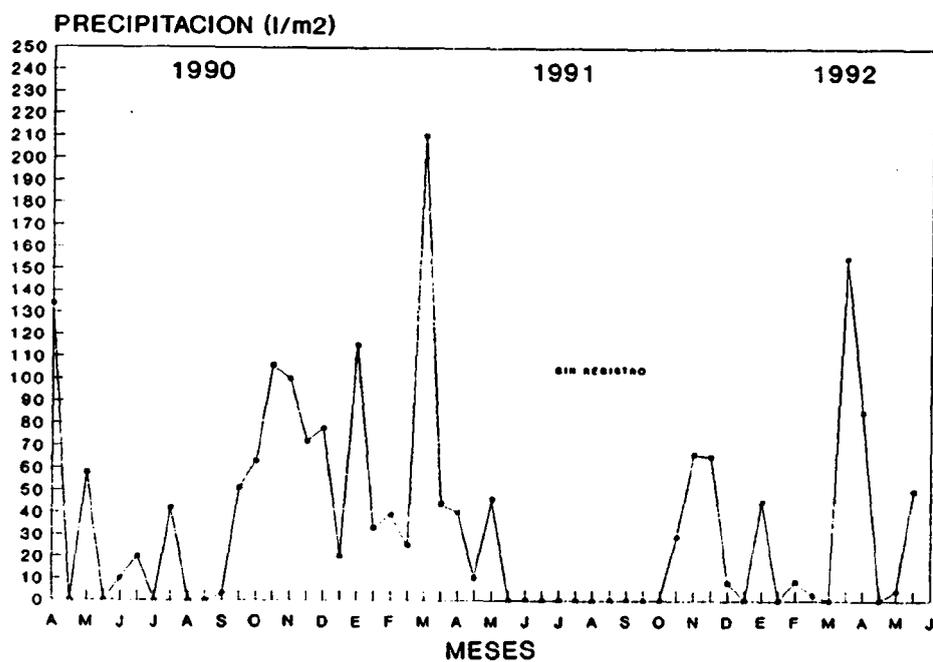
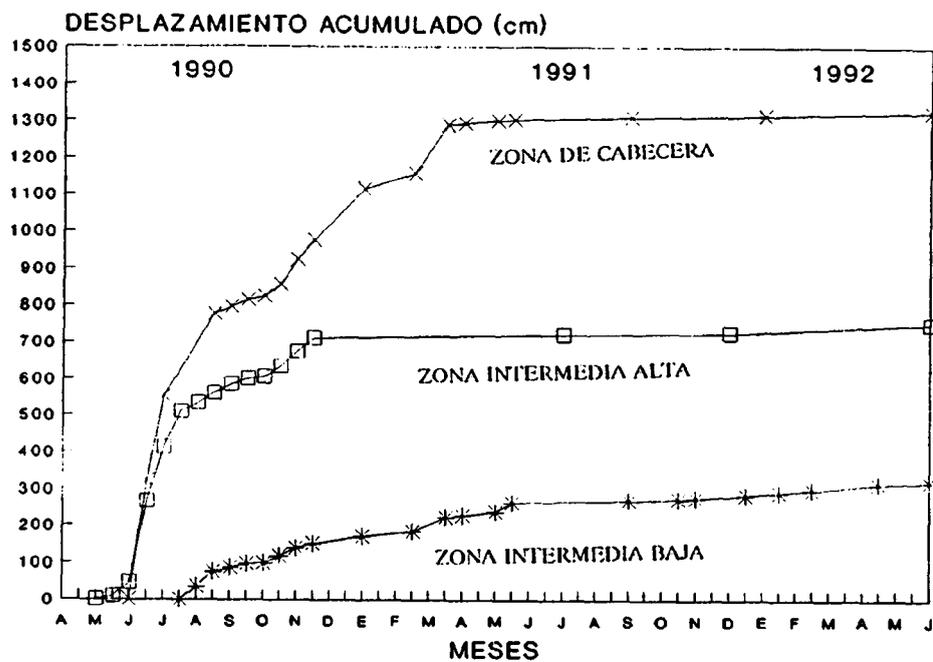


Figura 5: Curvas de movimientos superficiales medidos en hitos topográficos y de precipitaciones.

**ANALISIS DE ESTABILIDAD.**

Identificada la geometría del deslizamiento, materiales, condiciones hidrogeológicas y la evolución del proceso de rotura, se analizó la estabilidad del talud con el fin de optimizar las medidas de control y estabilización definitivas. El mecanismo de rotura responde predominantemente a una tipología translacional con componente rotacional. No se aprecia control estructural de la inestabilidad, lo que implicaría que la rotura se produce a través de la matriz rocosa, sin embargo, las fallas que atraviesan las ladera delimitan parcialmente el deslizamiento.

Se modelizó el talud por el método esfuerzo-deformación (elementos finitos) mostrándose en la figura 6 los elementos y nodos del modelo. Se consideraron 5 tipos de materiales: lutitas sanas, lutitas alteradas, areniscas sanas, areniscas alteradas y materiales de falla. A dichos materiales se les asignó un comportamiento elasto-plástico o elástico en función de las condiciones del análisis.

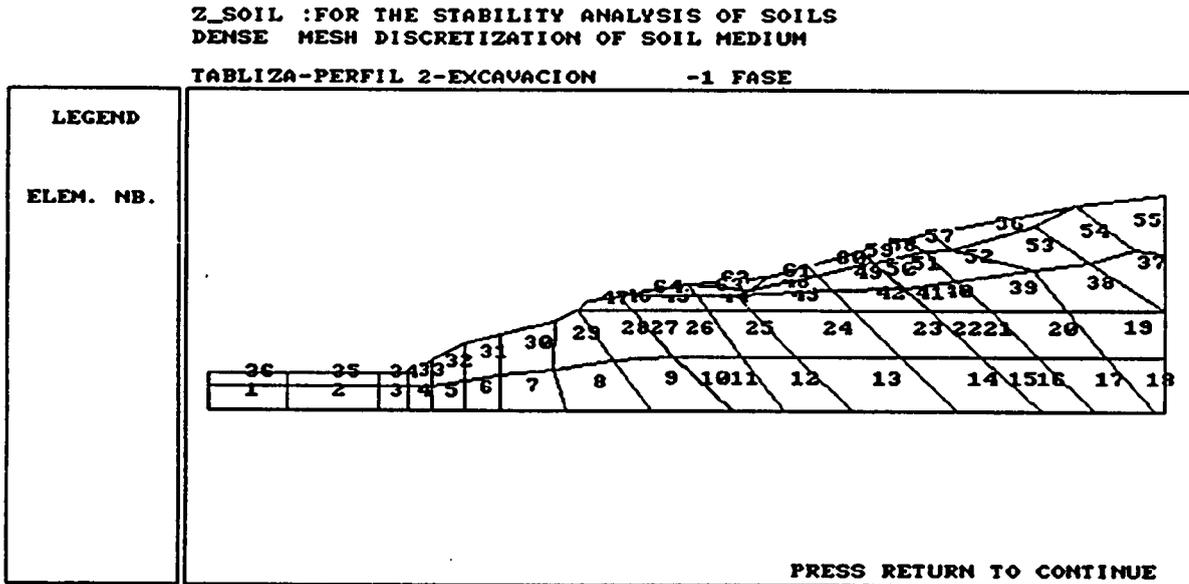


Figura 6: Malla densa del talud para su análisis por el método de esfuerzo deformación.

El objeto de este análisis fue reproducir el comportamiento real observado en campo en el talud con la obtención de los parámetros resistentes más representativos de los materiales, así como el proceso de deformación y estado de tensiones en cada una de las zonas del talud, considerando que se produce la inestabilidad y la rotura del material cuando se alcanzan desplazamientos plásticos irreversibles. Se estudió la influencia específica de las presiones intersticiales, papel de las fallas en las roturas, y el comportamiento elástico o plástico de los materiales (Beltrán de Heredia, F., 1992). De acuerdo con la modelización más ajustada a las condiciones reales observadas, los parámetros de las rocas (matriz rocosa) son los indicados en la Figura 7.

*generalizado*

Roca matriz	Densidad t/m <sup>3</sup>	E t/m <sup>2</sup>	v	C t/m <sup>2</sup>	φ
Lutitas	2,65	450.000	0,24	10	25
Areniscas	2,64	1.000.000	0,31	--	--
Falla	2,5	150.000	0,25	4	15
Lutitas alteradas	2,65	350.000	0,24	5	15
Areniscas alteradas	2,64	1.000.000	0,25	10	30

Figura 7: Parámetros geomecánicos representativos de la matriz rocosa.

Según este modelo, la mayor deformación corresponde a la zona de cabecera, quedando el pie relativamente intacto en las fases iniciales de inestabilidad, asimismo la máxima deformación se ajusta a la profundidad del plano de deslizamiento. Los análisis que no consideraban la presencia de las fallas existentes, comportamiento elástico de los materiales del tipo areniscas, o supresión del nivel freático generaron resultados no representativos. En la Figura 7 se muestra la malla deformada en el momento de la no convergencia, correspondiendo los máximos desplazamientos a la cabecera del talud.

Z\_SOIL: FOR THE STABILITY ANALYSIS OF SOILS  
MESH DEFORMATION

MAX DISPL. = 2.01e-003  
MIN DISPL. = -6.47e-002

TABLIZA-PERFIL 2-EXCAVACION -1 FASE

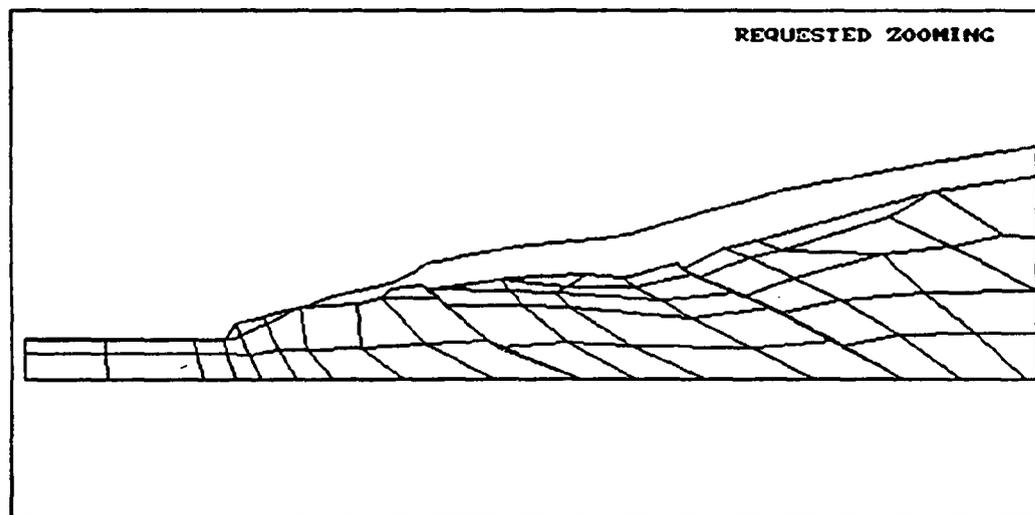


Figura 8: Malla deformada del talud.

La estabilidad del talud fue igualmente analizada para condiciones de equilibrio límite, según los métodos de Bishop, Janbu y Spencer, utilizando el programa PCSTABL 4. Para condiciones de equilibrio

límite el plano de deslizamiento unos parámetros resistentes de  $C = 0.5 \text{ Tn/m}^2$  y  $\phi = 15^\circ$ . Para el resto de los materiales los valores obtenidos son los indicados en el Figura 7.

Las presiones intersticiales fueron introducidas según las dos posibles situaciones observadas en el campo: situación estacionaria con nivel piezométrico próximo a la superficie de deslizamiento, y situación de fuertes precipitaciones con un nivel piezométrico alto (10 m por encima de la citada superficie) (Figura 2).

## **MEDIDAS DE ESTABILIZACION Y CONTROL.**

En este tipo de taludes formados por rocas blandas de comportamiento elastoplástico, sometidas a grandes deformaciones y con masas inestables muy grandes, el pretender alcanzar factores de seguridad (F.S.) usuales en otro tipo de taludes, tales que garanticen la estabilidad, o simplemente alcancen  $F.S. = 1.2$ , representarían costes muy superiores a la propia eliminación de la ladera inestable, debiendo llegar a un compromiso límite entre el coste y la seguridad.

El principio conceptual seguido para la estabilización de este talud se basó en los siguientes puntos:

- Conocimiento de la evolución del movimiento de la ladera y sus respuestas antes las medidas provisionales de estabilización ejecutadas.
- Control permanente del talud.
- Incremento progresivo de medidas de estabilización en función de la respuesta del talud, hasta alcanzar deformaciones tolerables.

La curva de evolución de movimientos (Figura 5) muestra que la excavación de tierras y los drenajes ejecutados en la Fase 1ª (1990) han sido muy eficaces. De la observación de los movimientos en superficie se deduce que el talud, a lo largo de dos años, está sufriendo una deformación plástica en estado residual y, dada la forma de la superficie de rotura, el avance del pie es muy pequeño.

Posteriormente a la Fase 1ª se han realizado nuevos análisis de estabilidad que han aconsejado la aplicación de medidas adicionales de drenaje y excavaciones de tierras ejecutadas en 1992 (Fase 2ª). También se han estudiado otras soluciones como los anclajes.

En este tipo de deslizamientos el drenaje constituye la medida más importante de estabilización primaria. Simplemente manteniendo el nivel piezométrico por debajo del plano de rotura se consigue un aumento del 10% en el factor de seguridad. El problema, sin embargo, es el siguiente:

- Dificultad operativa de alcanzar dicho nivel y evacuar por gravedad los caudales.
- Problemática en la captación eficaz de los caudales, dada la baja permeabilidad y la circulación por fracturas.

Dificultad en mantener la eficacia de estas medidas a lo largo del tiempo, y su respuesta ante precipitaciones importantes.

De acuerdo con las posibilidades reales de implantación de drenaje se han instalado en la Fase 1ª 63 drenes y en la Fase 2ª 30 drenes californianos de 25 a 40 m de longitud situados en distintas zonas, preferentemente en el pie, y a distintas alturas del talud; y 13 pozos drenantes de 16-25 m de profundidad y 1.5 m de diámetro. Los pozos están conectados entre sí y desde lo mismos se instalan drenes radiales que mejoran su eficacia. La evacuación se efectúa por un dren horizontal colector.

A pesar de que estas medidas suponen mejoras apreciables en la estabilidad, a efectos de cálculo no se les ha atribuido un aumento en el F.S. del talud. Su papel se ha limitado a mantener que el nivel piezométrico no suba por encima del plano de deslizamiento.

Otro tipo de medidas estudiadas han sido la excavación de tierras en zonas críticas. En este caso debe tenerse también en cuenta las dificultades de acceso y volumen existente de material excavable por encima del plano de deslizamiento. Para aumentar el F.S. en un 10% aproximadamente se precisaría excavar del orden de 270.000 m<sup>3</sup>. Téngase en cuenta que el talud sufrió ya un desmonte inicial (Fase 1ª) como medida urgente de control. En esta Fase 2ª se excavaron varios bancos en la zona de cabecera y en una gran berma o plaza a media ladera creada para tratar de independizar en lo posible el empuje de la zona alta del talud sobre la zona más crítica situada al pie del mismo (Figura 9).

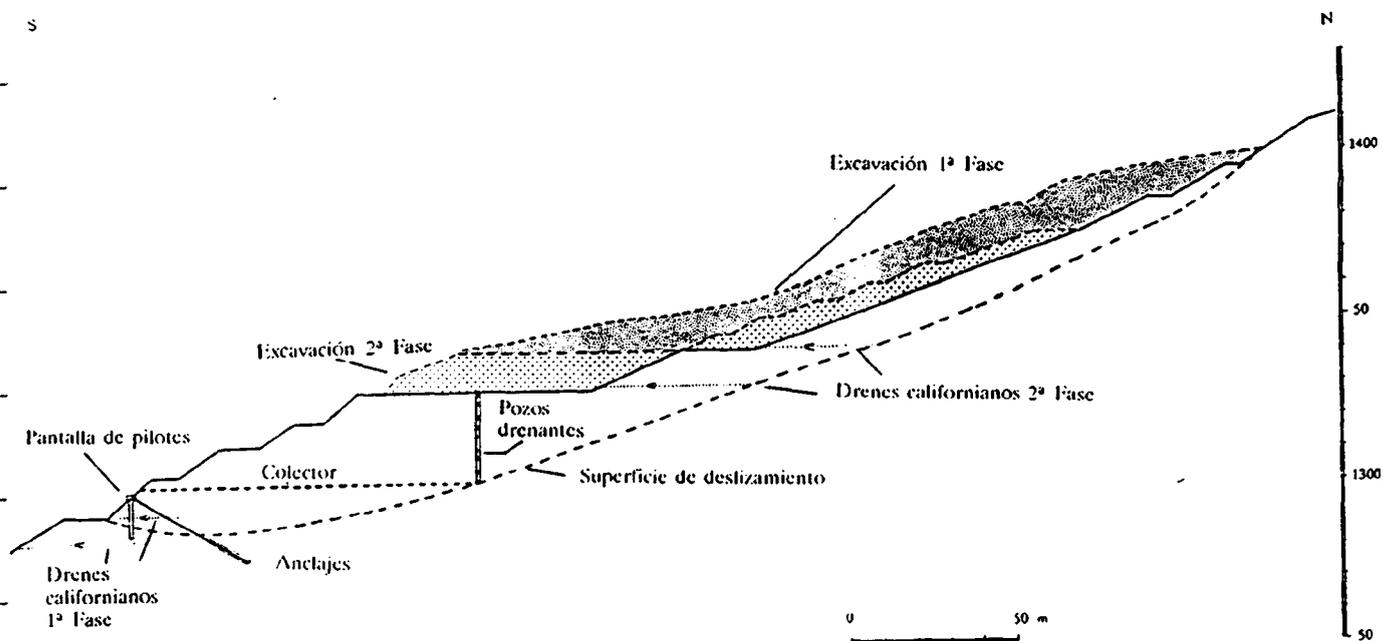


Figura 9: Medidas de estabilización Fase 2ª.

Por último, se estudiaron otras medidas como anclajes, o muros anclados. Se analizaron distintas opciones entre las que se destacan las siguientes:

- Para un muro de 150 m de longitud situado al pie del talud con dos filas de anclajes de 100 t con 45 m de longitud, con un total de 60 unidades espaciadas 5 m, se conseguiría un aumento inferior al 2%.
- Otra alternativa analizada y propuesta por RODIO, es construir una barrera de pilotes con anclajes de 175 t. El sistema constaría de pilotes de 1.5 m de diámetro, espaciados 2 m, con una longitud del orden de 10-12 m unidos en cabecera por una viga de atado a la que se fijan anclajes de 175 t espaciadas 1 m y de 40 m de longitud. Se obtendría un incremento del 10% en el factor de seguridad.

Los resultados anteriores pueden expresarse en función del coste medio por metro lineal de tratamiento de frente del talud para incrementar un 1% el factor de seguridad hasta un 1.05 de F.S., obteniéndose los siguientes resultados:

Medidas de estabilización	Coste medio por m.l. para un incremento de 1% del F.S. (F.S. < 1.05)	Ratio
Excavación en zonas de cabecera	30.000 P <sub>t</sub>	1.0
Excavación en zonas intermedias	73.000 P <sub>t</sub>	2.4
Drenajes profundos	130.000 P <sub>t</sub>	4.3
Barreras de pilotes anclados	190.000 P <sub>t</sub>	6.3
Anclajes/muros anclados	290.000 P <sub>t</sub>	9.6

Cualquiera de estas soluciones debe tener en cuenta las limitaciones materiales para la ejecución de cada una de estas medidas. Por ejemplo, las excavaciones en cabecera son insuficientes para conseguir un incremento en F.S. apreciable, por lo que estas medidas de menor ratio deben combinarse con otras. En la Figura 10 se ilustran gráficamente estos aspectos.

Las condiciones del talud estudiado obligan a combinar varias de estas soluciones. La barrera de pilotes anclados junto con las excavaciones y drenajes, consiguen un F.S. del orden de 1.20, sin embargo, suponen un coste superior a la propia excavación total de la ladera. Por otro lado, a priori no existe un criterio suficientemente riguroso que garantice la estabilidad del talud para un F.S. de 1.20, cualquier otro valor superior o inferior.

La evolución de movimientos, observada a lo largo de casi tres años, y la respuesta del talud a las medidas iniciales tomadas, junto con experiencias semejantes contrastadas en otros grandes deslizamientos en rocas blandas (L. Richards, 1991) aconseja optar por soluciones flexibles y por fases, en las que se lleve un control del talud junto con la ejecución de medidas de estabilización. De esta forma, se optimiza y ajustan las medidas al comportamiento de la ladera. Las soluciones propuestas en la Fase 2ª (Figura 9) fueron las siguientes:

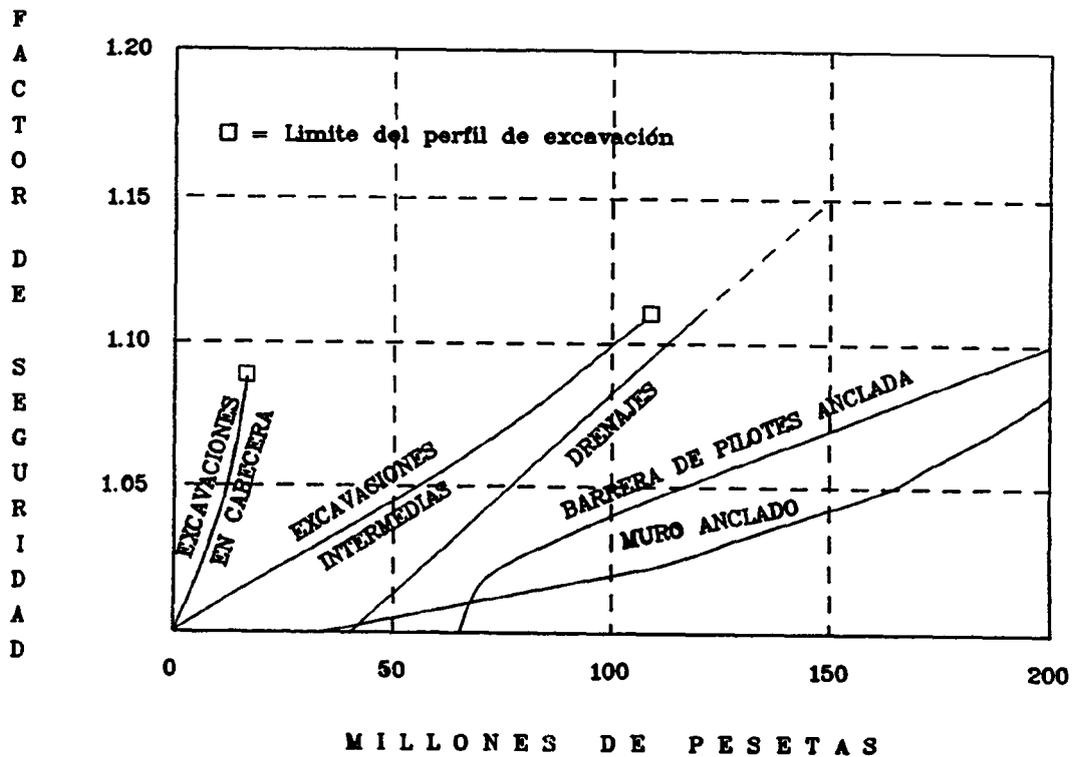


Figura 10: Relación entre el coste en millones de pesetas y el factor de seguridad de las distintas medidas de estabilización en el talud estudiado.

Medidas de estabilización (Fase 2ª):

Fase 2a:

- Excavaciones en cabecera y zonas intermedias.
- Instalación de las medidas de drenaje profundo, además de otras de mejora del drenaje de las aguas de escorrentía.
- Medidas de conservación y fijación superficial de taludes (perfilado de taludes, hidrosiembra, canalizaciones, etc.).
- Auscultación permanente del talud con control de movimientos.

## **Fase 2b:**

Si los movimientos continúan y estos exceden los tolerables, se incrementarán las medidas de drenaje y se construirá un tramo experimental de unos 30 m de longitud de barrera de pilotes anclados que se instrumentará y observará durante un período de un año. La respuesta del talud daría la pauta para extender la barrera a todo el frente.

Hasta la actualidad y después de casi tres años de control el talud responde satisfactoriamente a las soluciones dadas, incluso después de sufrir intensos períodos de lluvias. La ejecución de la barrera de pilotes anclados se aplicaría sí la zona de pie sufre deformaciones significativas.

De alcanzarse definitivamente un equilibrio en el talud se habrá evitado un coste muy elevado de medidas activas, que a pesar de ser práctica habitual, no está demostrada su necesidad en casos como el estudiado. Este tipo de solución obliga, por otra parte, al control permanente del talud y a admitir ciertas deformaciones y movimientos en el macizo.

## **REFERENCIAS.**

BELTRAN DE HEREDIA, F. (1992). "Análisis de estabilidad por los métodos de equilibrio límite y esfuerzo-deformación de un talud inestable en rocas blandas". 111 pp. Tesis del Master de Ingeniería Geológica. U.C.M.

CARBO, A., RIVERA, Y. y DOMINGUEZ, M.A. (1992). "Determinación de la geometría en profundidad de un deslizamiento y circulación de agua mediante técnicas geofísicas". IV Simp. Nal. Taludes y Laderas Inestables. La Coruña.

FERRER GIJON, M. y GONZALEZ DE VALLEJO, L.I. (1991). "Stress-strain relationships in the analysis of the failure process of weak rock masses". (pp. 225-230). International Congress on Rock Mechanics. Aachen, Alemania.

RICHARDS, L. (1991). Golder Associates. University of London. New Zealand. Comunicación personal.

**PROBLEMAS ESPECIFICOS DE PROYECTOS SOMETIDOS A E.I.A.:  
GRANDES PRESAS, PUERTOS Y OBRAS EN EL LITORAL**

**ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESMENT: SPECIFICS PROBLEMS OF  
LARGE DAMS, HARBOURS AND SHORE STRUCTURES**

**Máximo Hernández Ruiz**

Ldo. en Ciencias Geológicas  
Area de Ingeniería GeoAmbiental  
Instituto Tecnológico GeoMinero de España  
C/ Ríos Rosas, nº 46, 1º A-B  
28003-Madrid

**Resumen:**

La importante dinámica sinérgica de los efectos ambientales originados por los proyectos constructivos que inciden en los ámbitos litoral y fluvial, requiere una visión integral desde su concepción que implique un detallado análisis en cuanto a la planificación, ordenación y gestión del territorio valorando la componente inercial de los impactos sobre los distintos sistemas.

En España se encuentran actualmente en explotación más de un centenar de grandes puertos, y alrededor del millar de presas, de las cuales un 70% se han construido en tan sólo los últimos cuarenta años. Si se tienen en consideración las especificaciones para los proyectos de Grandes Presas expresadas en el reciente Real Decreto Legislativo 1302/1986 de Evaluación de Impacto Ambiental, implicaría a más del 80% de los casos ya existentes.

Desde este singular punto de partida, la aplicación de la legislación ambiental en los futuros proyectos exige un especial interés en la prevención de los impactos. Para ello se requiere una buena identificación de acciones y factores ambientales, trascendentes y significativos para cada ámbito. Asimismo, el conocimiento del carácter extensivo, dilatado, sinérgico y poco reversible de gran parte de los efectos, desde las primeras fases del desarrollo del proyecto, incide en aspectos constructivos y técnicos calibrando la estrecha franja entre el respeto al medio, y la presencia de importantes impactos residuales tras la aplicación de medidas correctoras.

**Palabras clave:** Impacto ambiental, Grandes presas, Puertos, Ríos, Costas, España.

**Abstract:**

**Key words:**

**1. INTRODUCCION.**

El Medio Ambiente como principio de realidad viva y dinámica del entorno humano, presenta un enorme interés ligado al desarrollo operativo del hombre desde sus orígenes.

La evaluación y corrección de los impactos ambientales motivados por las Grandes Presas, Puertos y Vías de Navegación requiere desde la concepción del proyecto una visión de talante integrador que implique decisiones socio-políticas en cuanto su incidencia en la planificación, ordenación y gestión del territorio.

Como casuística caben señalar los efectos consecuencia de la regulación fluvial en los sistemas litorales como son los casos del Mar de Aral, el Delta del Danubio y el Delta del Nilo. Este último presenta un retroceso importante de la línea de costa con rango superior a un 1 m por año desde la finalización de la Presa Alta de Asuan en 1964.

En el ámbito español ya la Ley de Costas (RD 22/1988 del 28 de Julio) evidencia en su exposición de motivos que "la disminución de los aportes sólidos de los ríos y arroyos ha ocasionado la regresión del 17 por 100 de costa" en nuestro país. Consiguientemente ante este estado de deterioro la Dirección General de Puertos y Costas (MOPU, 1985) elaboró el Plan de Actuaciones para el período 1983-1990 con inversiones que superan los 35.000 millones de pesetas de las cuales un gran porcentaje se dedica a la regeneración y creación de nuevas playas.

Un ejemplo característico de nuestro litoral es la evolución reciente del Delta del Ebro (figura 1), fuertemente condicionado

por la acción antrópica que contribuye a su degradación. La construcción de diferentes embalses a lo largo del curso del río desde principios del siglo XX, ha motivado una erosión generalizada en el Delta con valores que superan los 2 Km<sup>2</sup> durante el período 1946-1984 para el sector de la Isla de Buda y Desembocadura Sur (Giró, et al. 1989).

[Fig. 1]

El presente trabajo, incluido dentro del marco formativo del "Curso de Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales", nace con un carácter simbiótico con el compendio de contenidos temáticos que se imparten. De esta forma se han enfocado didácticamente los problemas específicos de los proyectos de grandes presas y puertos sometidos a evaluación de impacto ambiental.

Los apartados temáticos tratados van desde los aspectos jurídico-administrativos específicos, y la identificación de elementos, acciones y factores del medio hasta los efectos ambientales como paso previo para comprender el alcance necesario de las medidas correctoras, y planes de vigilancia y control, consideraciones ya realizadas en el área de "Técnicas generales de corrección y restauración".

Finalmente remarcar que una óptica de conexión entre el dominio litoral y fluvial constituye el ámbito adecuado para comprender la importante dinámica sinérgica de la problemática ambiental consecuencia de las actuaciones en estos medios.

## **2. MARCO LEGISLATIVO.**

El carácter vinculante de las Normas Legislativas que regulan la Evaluación de Impacto Ambiental, y los aspectos Jurídico-Administrativos que emanan de ellas inciden desde un primer momento con índole preventiva en la defensa del medio ambiente, dentro del proceso de toma de decisiones de cara a la ejecución de un proyecto.

La entrada en vigor del Real Decreto Legislativo 1302/86 el 20 de Julio de 1988 (B.O.E. 30 de Junio 1986) como transposición de la Directiva Europea 85/337/C.E.E. a la normativa española, constituye tal y como se indica en el artículo primero, una disposición "cuyos preceptos tienen el carácter de legislación básica", estableciéndose en su anexo unos apartados con las actividades que a nivel de proyecto quedan sujetas a la Evaluación de Impacto Ambiental. En el apartado nº 8 se señalan los "Puertos comerciales; vías navegables y puertos de navegación interior que permitan el acceso a barcos superiores a 1350 toneladas y puertos deportivos"; y en el apartado nº 10 las "Grandes Presas".

Con un carácter más preciso y desarrollado dentro de este ámbito se dicta el Reglamento, R.D.L. 1131/1988 de 30 de Septiembre de 1988, en el cual se detallan los criterios que establecen el procedimiento administrativo para llevar a cabo la evaluación de impacto ambiental. En el Anexo 2 denominado "Especificaciones relativas a las obras, instalaciones o actividades comprendidas en el anexo del Real Decreto Legislativo

1302/1986 de 28 de Junio, de evaluación de impacto ambiental", referente a la temática que nos ocupa, expresa en los apartados nº 8 y 10 lo siguiente:

\* Apartado 8. "Puertos comerciales; vías navegables y puertos de navegación interior que permitan el acceso a barcos superiores a 1.350 toneladas y puertos deportivos:

En relación a las vías navegables y puertos de navegación interior que permitan el acceso a barcos superiores a 1.350 toneladas, se entenderá, que permitan el acceso a barcos superiores a 1.350 toneladas de desplazamiento máximo (desplazamiento en estado de máxima carga)".

\* Apartado 10. "Grandes presas:

Se entenderá por gran presa, según la vigente Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, a aquella de más de 15 metros de altura, siendo ésta la diferencia de cota existente entre la coronación de la misma y la del punto más bajo de la superficie general de cimientos, o a las presas que, teniendo entre 10 y 15 metros de altura, respondan a una, al menos, de las indicaciones siguientes:

Capacidad del embalse superior a 100.000 metros cúbicos.

Características excepcionales de cimientos o cualquier otra circunstancia que permita calificar la

obra como importante para la seguridad o economía públicas".

Asimismo como disposición adicional se regula la aplicación "a los procedimientos de estudios y evaluaciones de impacto ambiental ya previstos en las distintas regulaciones sectoriales de la siguiente forma:

\* "En el caso de grandes presas, a que se refiere el apartado 10 del anexo del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de Junio, y en su relación con lo establecido en el artículo 90 de la Ley de Aguas en cuanto a aprovechamiento en materia de aguas continentales, en los aspectos referentes al Estudio de Impacto Ambiental se aplicarán el Real Decreto Legislativo 1302/1986 y el presente Reglamento.

En cuanto a los demás supuestos a que se refiere el artículo 90 de la Ley de Aguas y a los que se aplique la regulación de los artículos 52 y 236 a 290 del Reglamento aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 22 de Abril, dicha regulación se complementará con el artículo 6 del Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de Junio y por los artículos 23 y 24 del presente Reglamento".

Dentro de los aspectos jurídico-administrativos incluidos en el esquema del procedimiento administrativo de evaluación de impacto ambiental cabe señalar que después de un año aprobado el Reglamento únicamente se ha producido una Declaración de Impacto Ambiental para Grandes Presas con la Resolución de 20 de Junio

de 1990 (B.O.E. 6 de Septiembre 1990) de la Dirección General de Ordenación y Coordinación Ambiental, por la que se publica la D.I.A. sobre el anteproyecto del embalse de Itoiz (Navarra), de la D.G.O.H. Como antecedentes dicho anteproyecto es el resultado de un estudio alternativo ante la oposición social al proyecto elaborado en 1973 del denominado " Embalse de la Foz de Lumbier" el cual afectaba a un área de elevado patrimonio ambiental e implicaba un cambio en el emplazamiento de la población de Lumbier.

### **3. IDENTIFICACION DE ELEMENTOS, ACCIONES, Y FACTORES DEL MEDIO.**

Los aspectos más específicos de indole ambiental que inciden en la evaluación del impacto, van a venir determinados fundamentalmente por el ámbito de actuación, y el alcance necesario para cada una de las fases del proyecto; "en lo que se refiere a la elaboración de planes y programas, la realización de construcciones o de otras instalaciones y obras, así como otras intervenciones en el medio natural o en el paisaje, incluidas las destinadas a la explotación de los recursos naturales renovables...", (Concepto de Proyecto, Anexo 1, R.D. 1131/88).

El reconocimiento de las acciones y elementos del proyecto de efecto significativo sobre los distintos factores ambientales, con objeto de evaluar su incidencia específica en las distintas fases de la actividad, requiere una metodología y análisis informativo que destaque aquellas acciones que presenten un

carácter relevante conforme la realidad del proyecto, aspectos ya tratados suficientemente por otros autores dentro del marco formativo en el cual se incluye el presente trabajo.

En este sentido y con un carácter específico, la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, 1983) ha realizado una matriz de doble entrada destinada a identificar y evaluar los efectos sobre el medio en las fases de construcción y explotación, considerando así mismo las actividades inducidas.

[Fig. 2]

La forma de operar con esta matriz implica según sus autores seis etapas de las cuales únicamente las tres primeras se refieren al inventario del medio, especificándose lo siguiente:

- Primera etapa o de identificación de acciones: Se marcan según el orden jerárquico preestablecido los usos del agua, para posteriormente indicar las características del tipo de acción en lo referente "a la presa o a las obras" (explotación, construcción).

- Segunda etapa o de identificación de factores ambientales: Se señalan todos los parámetros del medio susceptibles de ser afectados por acciones, referidos al entorno económico-social, "geofísico", hidrológico, climático y biológico (fauna y flora).

- Tercera etapa o definición del entorno afectado: Es una de una de las más complicadas. Corresponde a la definición y

**CARACTERISTICAS DE LA PRESA Y EMBALSE**

Nombre de la presa  
 Rio  
 Pais  
 Propietario  
 Objetivo(s) del aprovechamiento  
 Presa  
 Tipo

Altura (m)  
 Longitud de coronación

**Embalse**  
 Superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>)  
 Caudal medio anual (m<sup>3</sup>/sg)  
 Precipitación media (mm)  
 Evaporación (mm)  
 Crecida máxima conocida (m<sup>3</sup>/sg)  
 Volumen del embalse (m<sup>3</sup>)

Longitud del embalse (Km)  
 Superficie de embalse (Km<sup>2</sup>)  
 Longitud de las orillas

**Medio ambiente**  
 Geología  
 Relieve  
 Clima  
 Población  
 Vegetación y cultivos  
 Fauna y ganadería

Situación respecto a la cuenca:

Zona aguas arriba  
 Zona aguas abajo  
 Zona de estuario o delta  
 Anchura del rio  
 Pendiente en el emplazamiento  
 Calidad del agua

**Observaciones**

A	BARRIO	E	IMPACTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES										IMPACTO AMBIENTAL										IMPACTOS SOBRE EL AGUA										IMPACTO SOBRE LA FAUNA TERRESTRE Y ACUÁTICA										IMPACTO SOBRE LA FLORA TERRESTRE Y ACUÁTICA																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																		
USO DEL AGUA	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230										
USO DEL AGUA	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360										
USO DEL AGUA	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430
	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490										
USO DEL AGUA	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620										
USO DEL AGUA	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750										
USO DEL AGUA	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820
	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880										
USO DEL AGUA	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950
	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010										
USO DEL AGUA	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080
	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140										
USO DEL AGUA	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210
	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270										
USO DEL AGUA	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340
	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400										
USO DEL AGUA	14																																																																					

delimitación del ambiente en cuyo área se originan las interacciones que se pretenden analizar.

Finalmente, tal y como se indica en la nota de presentación de la matriz, ésta debe ser complementada por un texto de comentario que justifique y explique "las interpretaciones" que se han realizado.

Por otra parte la Guía Metodológica para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental de Grandes Presas (en adelante G.M.P.), elaborada por la Dirección General de Medio Ambiente, (DGMA, 1989) señala como punto de partida de un Es.I.A., el análisis y descripción del proyecto para posteriormente desglosar en acciones elementales, conforme las fases relativas a la construcción, explotación y abandono. En este apartado se deben de exponer según la guía, "las razones que han llegado a considerar la necesidad de la actitud proyectada, así como la justificación del emplazamiento elegido, frente a otras posibles alternativas para su ubicación. Es útil, en este sentido, hacer una breve recapitulación histórica de las condiciones o problemas identificados en el entorno, tanto geográfico como socioeconómico, en el que está previsto que se aplique la actividad. También es conveniente un análisis, breve, de las opiniones alternativas rechazadas si las hubiere, mediante una descripción de sus consecuencias medioambientales, técnicas, sociales y económicas...". Por otra parte, se señala la gran utilidad que tiene para el gestor, en el proceso de selección de distintas alternativas, la E.I.A. en la fase de planificación, considerando "los posibles efectos que la puesta en marcha de la

actividad que se analiza, pudiera tener otros proyectos y planes, tanto en el ámbito local, como regional o nacional".

Las acciones elementales a considerar serán por tanto resultado de los objetivos planteados conforme la fase de proyecto, escala de trabajo y tiempo operativo. En la G.M.P. se detalla una relación básica de acciones importantes relativas a la fase de construcción, explotación y abandono:

\* Fase de Construcción

- Derivación de aguas y ataguías.
- Caminos y pistas de acceso, y montaje.
- Obras de construcción propiamente dichas, incluidos los movimientos de maquinaria.
- Transporte de materiales a la obra o fuera de ella.
- Vertido de tierras y diversos materiales originados durante la construcción.
- Edificios de obra.
- Deforestación del vaso.
- Canteras.
- Reposición de viales.
- Información socioeconómica.

\* Fase de Explotación

- Presa y embalsamiento del agua.
- Infraestructura.

- Oscilaciones de nivel del agua embalsada.
- Regulación del caudal aguas abajo de la presa.
- Datos socioeconómicos.

**\* Fase de Abandono**

- Presencia de elementos y estructuras abandonadas.
- Establecimiento de un nuevo cauce fluvial en el embalse vacío.
- Restablecimiento del régimen natural del río.

Sin embargo, algunas de estas acciones, así como aquellas generadas por actividades inducidas son susceptibles de requerir un Es.I.A., si trascienden a otros apartados señalados en el ámbito de actuación de la Ley, como es el caso de las canteras o infraestructuras anejas.

Las actividades inducidas, en el caso de las Grandes Presas, son potencialmente de gran importancia en su afección al medio ambiente, pudiendo originar o englobar efectos que superen al impacto originado por la construcción del cuerpo de presa y creación del embalse. En este sentido, la G.M.P. cita a "título indicativo" las siguientes actividades:

- Presencia de líneas de transporte eléctrico.
- Aparición de canales y conducciones de agua, con finalidades diversas.
- Puesta en regadío de terrenos.
- Desarrollo de actividades recreativas.

- Aparición de urbanizaciones.
- Repoblaciones forestales.

Por otra parte, la identificación y prospección integrada de los factores del medio, entendidos como unidades, cualidades, interacciones y procesos del entorno afectados por el proyecto, implica el concepto de "diagnóstico" en el sentido expresado por Gómez Orea (1988):

- Descripción de la situación preoperacional.
- Inventario de la evolución reciente del entorno.
- Predicción de las variaciones futuras en el entorno sin proyecto.
- Análisis de los factores sociales: intereses, conflictividad, economía, etc.

Posteriormente, utilizando diversos instrumentos informativos se identifican los factores del medio por aproximaciones sucesivas destacando aquellos de carácter significativo desde el punto de vista ambiental, siendo de gran ayuda las listas incluidas en los modelos generales y específicos para cada tipo de proyecto.

Como caso práctico en los cuales se han aplicado distintas metodologías para la identificación de acciones y factores del medio se encuentra el denominado "Estudio de Impacto Ambiental de la Presa de Giribaile (Jaén)", que utiliza la matriz de Grandes Presas del I.C.O.L.D. y la contrastación de escenarios

semejantes, caso del preexistente embalse de Guadalén.

En lo que respecta al ámbito litoral existe hasta la fecha una "Propuesta de Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental de Obras Marítimas", elaborada por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC, 1989), con antecedentes específicos para obras de defensa de costas y puertos deportivos (Enríquez, F. y Berenguer, J.M., 1986 y 1987).

En esta propuesta de guía se diferencian los "elementos, obras y actividades" susceptibles de originar acciones impactantes en el medio para cada una de las fases del proyecto contempladas: "Planteamiento, Construcción y existencia, y explotación".

"Planteamiento": Se consideran las acciones generadas por los "estudios sobre el terreno" tales como las prospecciones geotécnicas y geofísicas; medidas de parámetros climáticos, oceanográficos e hidrológicos; y medidas especiales como la utilización de isótopos, trazadores luminóforos, etc.

"Construcción y existencia": Se consideran los elementos de Infraestructura, Redes de Servicio y Superestructuras con sus correspondientes obras y actividades. a) Infraestructura: obras de abrigo, obras de atraque, obras especiales, dragados, explanadas, vertidos, comunicaciones y canteras; b) Redes de Servicio: terrestres, aéreas, marinas; c) Superestructuras: almacenamiento, servicios, señalización marítima y sistemas de carga.

**"Explotación"** : Se detallan las actividades comerciales, industriales y turísticas, susceptibles de generar algún tipo de afección al medio.

Estas actividades son un marco de referencia básico que deberán de ser complementados en función de los aspectos específicos de la obra portuaria como son la creación de esclusas, vertidos de sustratos contaminados procedentes de dragados en el interior del puerto, o las acciones que conllevan la creación de una vía navegable.

#### **4. EFECTOS AMBIENTALES.**

##### **4.1. Consideraciones previas.**

Los proyectos que se realizan en los ámbitos litoral y fluvial como son los puertos y las grandes presas, inciden en una amplia diversidad de factores ambientales, cuyos efectos tienen un carácter fundamentalmente sinérgico, extensivo, dilatado y poco reversible, en comparación con el desarrollo de otras actividades.

Estas circunstancias implican, dado el millar de presas y más del centenar de grandes puertos existentes en España sin contar con las debidas garantías ambientales, un singular nivel de partida de cara a la ejecución de nuevos proyectos.

A continuación se van a detallar los efectos más significativos motivados por estos proyectos en lo que respecta al paisaje, clima y atmósfera, procesos morfodinámicos, acuíferos y calidad de las aguas, fauna, vegetación, socioeconomía y

patrimonio, y riesgos.

El análisis de estas alteraciones en el medio requiere la utilización de indicadores y técnicas de previsión adecuadas a cada circunstancia, ya indicados de forma específica dentro del marco formativo del presente trabajo.

#### **4.2. Efectos sobre el paisaje.**

Las afecciones mas importantes al paisaje dentro de un dominio espacial y visual se originan en las fases de construcción y explotación, principalmente derivadas de la desaparición e introducción de nuevos elementos en el entorno, y las modificaciones en la configuración del medio respecto a su estado natural.

##### **4.2.1. Grandes Presas y paisaje:**

En la fase de construcción los impactos más relevantes radican en actividades indirectas tal y como la creación de una nueva red de accesos, movimientos de tierras que cambian la fisiografía natural, vertidos de residuos solidos (escombreras, vertederos), realización de canteras, modificaciones en el cauce, y cambios en los emplazamientos de los núcleos de población afectados. Por otra parte, hay que considerar el carácter sinérgico de estas interacciones al ejercer un efecto cascada que catalice algunos procesos como es el caso de la erosión con el consiguiente cambio paisajístico.

Durante la explotación del embalse se origina una importante transformación paisajística motivada fundamentalmente por la implantación de una extensa lámina de agua (figura 3), la

presencia del cuerpo de la presa y el intrusismo de elementos aparejados a las actividades inducidas. Asimismo los efectos originados por la regulación fluvial en las áreas litorales ocasionan importantes variaciones de la línea de costa siendo de gran interés evaluar estos efectos dentro de una concepción integral del impacto.

[Fig. 3]

El agua embalsada inunda total o parcialmente diferentes unidades ambientales originando diversos efectos paisajísticos como son: el desarrollo de una banda árida (efecto "ceja") que rodea el contorno del vaso producida por las oscilaciones de nivel asociadas al régimen climático y de explotación del embalse; disminución de la transparencia visual del entorno consecuencia del presumible aumento de las nieblas; contribución a la variabilidad paisajística de la lámina de agua; sensación de amplitud espacial al originarse una visión especular sobre las aguas, ruptura brusca de algunas unidades ambientales con el agua, etc.

Respecto al cuerpo de la presa su efecto, dentro de este apartado, radica en el cambio que origina en la perspectiva del valle al introducir un elemento opaco en el paisaje que disminuye el alcance visual del entorno en el que se ubica, y en un aumento de la sensación de aridez.

Como caso especial, las explotaciones de áridos a cielo abierto y la formación de escombreras, cuando éstas se realizan

en el interior del vaso, se suele estimar nulo su impacto paisajístico en la fase de explotación del embalse. Sin embargo sí deben estimarse estos efectos en el caso que afecten dichas actividades a la configuración de una presumible isla, o puedan emerger en cola del embalse periódicamente.

#### **4.2.2. Puertos, obras en el litoral y paisaje.**

En general, los efectos paisajísticos específicos del litoral con un carácter transcendente de cara a la evaluación de impacto ambiental son muy reducidos, si bien en algunas ocasiones pueden ser de gran interés: ruptura visual de la línea de costa al introducir elementos opacos: diques, muelles, tinglados, etc; cambio de perspectiva que se origina desde la ciudad al mar; alteraciones puntuales de la transparencia visual consecuencia del aumento de elementos en suspensión en el aire por una parte durante la fase de construcción y por otra durante la operación con graneles en la fase de explotación.

#### **4.3. Efectos sobre el clima y la atmósfera.**

Las variaciones de los elementos climáticos y la calidad en la atmósfera presentan un gran interés por su transcendencia en la sanidad ambiental y en la sinergia de sus efectos asociados.

Las acciones que se generan en la fase de construcción tanto para las grandes presas como para puertos y obras en el litoral, inciden en dos aspectos básicos:

a) Aumento de las partículas en suspensión en el aire e incremento de la contaminación en la fase gaseosa.

b) Efectos acústicos generados por el tránsito de maquinaria, construcción de la propia infraestructura y el desarrollo de actividades indirectas. Es de gran interés en este sentido el control temporal y en magnitud de las voladuras que pueden afectar con valores muy superiores al umbral acústico admisible a grandes áreas, debiendo simular su propagación y resonancia con modelos matemáticos.

Por otra parte, durante el período de tiempo que conlleva la explotación se generan los siguientes efectos climáticos y atmosféricos.

**. Grandes Presas:**

a) Creación de un nuevo microclima ante la presencia del embalse: cambios en la temperatura, humedad, precipitaciones, nieblas, heladas.

b) Efectos acústicos motivados por las actividades inducidas.

**. Obras en el litoral:**

Las afecciones al clima (atmosférico, oleaje, mareas, y vientos) en este tipo de proyectos son de escasa importancia. Caso especial son los cambios originados en la dinámica eólica consecuencia de la ruptura morfológica ocasionada por elementos opacos. En algunos casos los efectos en el clima sobre todo oleaje y mareas, puede implicar la desaparición de playas y dunas al desequilibrar el balance sedimentario.

Por otra parte en lo que respecta a la contaminación

ambiental la manipulación de grandes sólidos y líquidos puede ocasionar un aumento de los niveles sonoros y aumento de partículas sólidas en suspensión, sin embargo esta afección es más importante por las actividades inducidas de tipo industrial que llevan aparejados estos proyectos: refinerías, plantas de tratamiento, etc.

#### **4.4. Efectos sobre los procesos morfodinámicos.**

Los procesos morfodinámicos se encuentran estrechamente interconectados con un amplio conjunto de factores ambientales directa e indirectamente.

El carácter extensivo y sinérgico de las alteraciones humanas en estos procesos, implica de forma importante a corto y medio plazo, a diversos aspectos socio-económicos. Estas características requieren una detallada evaluación previa y análisis prospectivo del entorno desde las primeras fases de concepción del proyecto.

A continuación se exponen de forma sintética algunos de los efectos originados por la alteración de los procesos morfodinámicos, los cuales deberán ser analizados con los indicadores y técnicas de previsión más adecuados a cada circunstancia, ya indicados de forma específica dentro del marco formativo en el cual se incluye el presente trabajo (Barettino, 1991).

##### **4.4.1. Grandes Presas y procesos morfodinámicos.**

Clásicamente se diferencian tres zonas a la hora de realizar este tipo de análisis: área de embalse, sector de aguas arriba y sector de aguas abajo de la presa. Delimitar de una forma concreta la extensión, con áreas de mayor incidencia, de una u otras alteraciones requiere profundizar en otros problemas más complejos y poco desarrollados como son la inercia natural ante las diferentes alteraciones humanas en el medio, y su efecto acumulativo, siendo de especial interés en su evaluación la contrastación de escenarios semejantes.

Si bien ya en las etapas de construcción y estudios previos se originan afecciones al vaso de la presa que implican a la dinámica natural de los procesos: creación de una nueva red de accesos, encauzamiento del río, eliminación de la cobertura vegetal en la zona presumiblemente inundada, extracciones de rocas industriales, vertidos, etc.

Es durante la fase de explotación cuando se origina el cambio más trascendente en la zona, al pasar de un dominio sedimentario continental-fluvial a continental-lacustre o semilacustre con las implicaciones que conlleva a nivel general tanto en los procesos físicos, como en los químicos y biológicos. Asimismo cabe destacar el amplio período temporal de las acciones en esta fase, lo cual incide lógicamente en las consecuencias de los efectos originados.

Los problemas específicos de mayor interés en este apartado son los siguientes:

\* Cambio en la dinámica natural de laderas y vertientes favoreciendo la inestabilidad. Las causas más frecuentes son: aumento de la tasa de erosión, variaciones en la morfometría natural y alteraciones en los valores de presión intersticial en el pie de las laderas motivado por las oscilaciones del nivel de agua en el embalse.

\* Creación de una barrera sedimentaria favoreciendo el desarrollo de distintas facies dentro del embalse, como son las facies deltaicas, facies turbidíticas y facies de influencia química y bioquímica. Por otra parte esta alteración origina grandes consecuencias aguas abajo que trasciende al dominio litoral, con un importante déficit sedimentario.

\* Aumento intenso de la erosión en las áreas de borde del embalse motivado por la incidencia del oleaje.

\* Cambios en el perfil de equilibrio del río motivado por las modificaciones de caudal y carga sedimentaria, máxime aguas abajo de la presa. Estas variaciones implican alteraciones en los umbrales de estabilidad de las formas con la consiguiente degradación del lecho y márgenes del río, pudiendo inclusive motivar un cambio de sistema aluvial (recto, meandriforme, entrelazado, etc), con redistribución de las zonas de depósito y erosión.

\* Regulación de las avenidas.

\* Activación de los procesos morfodinámicos asociados a las redes tributarias de orden menor aguas abajo de la presa.

Este hecho favorece el depósito de abanicos aluviales en los canales de orden superior.

\* Armado del canal. Disminución relativa de fracciones granulométricas de orden inferior en el fondo del canal y estructuras sedimentarias asociadas. Este efecto se produce aguas abajo de la presa como respuesta natural de protección del lecho al déficit sedimentario.

\* Efectos de erosión interna y creación de grandes grietas de retracción durante los desembalses en el área de cola.

\* Alteración en las formas sedimentarias litorales como playas, dunas, deltas, acantilados , barras sumergidas, consecuencia del menor volumen de sedimento que se integra en el sistema litoral.

#### 4.4.2. Puertos, obras en el litoral y procesos morfodinámicos.

El medio litoral, fuertemente activo, acusa de forma rápida cualquier alteración en los procesos morfodinámicos que configuran el sistema.

La interferencia en el balance sedimentario de los elementos portuarios y las modificaciones en el clima del oleaje, mareas, corrientes y vientos provoca variadas consecuencias como son:

- . Basculamientos anómalos de playas.
- . Redistribución de sedimentos entre zona emergida-sumergida.
- . Alteración de la distribución y características de los

subambientes sedimentarios intermareales y estuarinos.

- . Degradación de formas costeras como dunas, deltas y playas fundamentalmente.

Algunos ejemplos de esta casuística se pueden observar en Berenguer, 1987; Díez, et al., 1988; Enriquez, et al. 1986 y 1987; Grigg, 1987; Nichols, et al. 1990; Peña 1988; Serra, et al. 1989; y Vilas, 1985.

#### **4.5. EFECTOS SOBRE LOS ACUIFEROS Y LA CALIDAD DE LAS AGUAS.**

##### **4.5.1. Grandes Presas.**

Desde el punto de vista de la dinámica de los acuíferos, la intercepción del flujo hidrogeológico natural motivado por la construcción de la presa y la creación del embalse origina dos consecuencias fundamentales:

- . Presumible subalimentación de los acuíferos existentes aguas abajo, ya sea con un carácter sectorial en el tiempo, o en el espacio respecto del estado original.

- . Elevación y oscilaciones del nivel piezométrico en el área de embalse. Este fenómeno puede originar inestabilidades en las laderas e importantes fugas al reactivarse en su caso las redes kársticas.

En cuanto a la problemática de la calidad de las aguas, los efectos más importantes se ocasionan en el área de embalse al

originarse cambios físico-químicos y biológicos, que pueden llevar incluso a la eutrofización.

Algunos de los síntomas que marcan la degradación de la calidad del agua en el embalse, debiendo actuar de forma inmediata con medidas correctoras son:-

Alteraciones térmicas, reducción del oxígeno en las zonas profundas, transformaciones químicas con aparición de cantidades importantes de distintas sales, CO<sub>2</sub>, etc., aumento en fósforo y nitrógeno, excesivo desarrollo de las macrófitas en las orillas y algas, etc.

#### **4.5.2. Puertos y obras en el litoral.**

Estas actuaciones antrópicas en un medio tan singularmente dinámico origina que los efectos, entre otros, sobre la calidad de las aguas litorales, tenga un carácter extensivo muy importante con gran trascendencia en la sanidad ambiental y socioeconomía.

En primer lugar, los efluentes consecuencia de la actividad durante la fase de explotación origina una contaminación de las aguas y sedimento, con la consiguiente eutrofización del medio afectando tanto a la vida vegetal acuática (posidonia oceánica por ejemplo), como a la fauna bentónica.

En segundo lugar, algunas obras constructivas disipadoras de la energía del oleaje se comportan como zonas de depósito tanto de sedimento como de materia orgánica. Este efecto provoca la aparición de rodofíceas que algunos autores conectan con el

desarrollo de las mareas rojas.

#### **4.6. EFECTOS SOBRE LA FAUNA.**

##### **4.6.1. Grandes Presas.**

La creación del embalse, la magnitud de su extensión, y algunos aspectos de las actividades indirectas son sintéticamente las acciones más importantes que inciden en la fauna y en los procesos ecológicos durante la construcción y explotación de una presa.

4.6.1.1. Durante la fase de construcción es recomendable el seguimiento de los distintos tipos de afecciones a la fauna, especialmente en aquellas áreas de alto valor natural. La estrategia radica en realizar labores de vigilancia y control en interacción permanente con el desarrollo del proyecto ofreciéndose diversas alternativas. Los aspectos básicos que se deben tener en cuenta son:

- . Desplazamiento ecológico de individuos y poblaciones.
- . Alteración o desaparición de hábitats.
- . Vigilancia de los ciclos de reproducción y acciones constructivas (embalsados, voladuras, etc.).
- . Control del caudal "ecológico" y calidad de las aguas.
- . Eliminación o reducción furtiva de especies con gran interés.
- . Cambios en las pautas de comportamiento.

4.6.1.2. En la fase de explotación dada la mayor dimensión temporal comienzan a tener un papel importante los efectos indirectos sobre la fauna consecuencia de las afecciones en la vegetación, clima, paisaje, procesos morfodinámicos, etc.

#### 4.6.1.2.1. Fauna acuática.

- Aguas arriba del embalse la afección más importante para la fauna acuática es la desaparición de las especies migratorias ante el efecto barrera que ejerce el cuerpo de la presa. Esto implica el desarrollo de una tecnología adecuada: escalas, artesas, rejillas especiales, esclusas, ascensores, etc, para mejorar la transparencia funcional de este sector. Sin embargo el funcionamiento de estas técnicas estáticas no es del todo satisfactorio, debiendo recurrir al desarrollo de viveros temporales y captura de ejemplares en período de procreación para transportarlos salvando el obstáculo.

- Una de las características fundamentales del área embalsada, es el desarrollo considerable de la fauna acuática al crearse un nuevo habitat. Sin embargo pese a este aumento de la biomasa deben de presentarse especial interés en los siguientes aspectos:

- . Cambios en la diversidad y stress sobre todo en relación con el régimen de explotación.
- . Efecto barrera y aislamiento de especies.
- . Cambios en las pautas de comportamiento.
- . Alteraciones periódicas de los biotópos existentes en

las márgenes consecuencia de las variaciones del nivel.

. Introducción de especies nuevas y exóticas que pueden ocasionar la desaparición de especies autóctonas.

- Finalmente, aguas abajo se originan alteraciones macrobénticas y variaciones en la biomasa, siendo indispensable el mantenimiento de los denominados caudales ecológicos.

#### **4.6.1.2.2. Fauna terrestre.**

El efecto barrera originado por la presencia del embalse, las alteraciones en la vegetación, y el desarrollo de actividades inducidas en el área, son los aspectos que inciden de forma sustancial en la evolución de la diversidad, madurez y stress.

Por otra parte, la importante extensión del habitat acuático y ribereño, acompañado de un adecuado establecimiento de la vegetación en las márgenes, favorece el desarrollo de la fauna, especialmente las aves acuáticas. Asimismo estos efectos pueden implicar la creación de un nuevo entorno con gran interés natural (Da Cruz 1986, Jaramilo 1989).

#### **4.6.2. Puertos, obras en el litoral y fauna acuática.**

El conocimiento de las alteraciones sufridas por los factores que inciden en la dinámica natural tal y como las modificaciones hidrodinámicas, cambios en el balance sedimentario, calidad de las aguas, etc, son la clave para comprender los efectos sobre la fauna acuática. En sentido inverso las alteraciones en el ecosistema acuático proporcionan interesantes datos sobre la injerencia de las acciones más importantes que actúan sobre el medio. Las fases de construcción,

explotación y ampliación de las infraestructuras existentes (incluido los dragados) repercuten en aspectos como la distribución de las especies, su diversidad y abundancia, etc. Por ello, es de gran interés el realizar una cartografía biosedimentaria de seguimiento durante todas las fases del desarrollo del proyecto. A nivel individual los efectos originados por la contaminación de las aguas y sedimento inciden de forma importante en las pautas de comportamiento, desarrollo estructural, metabolismo y reproducción.

Finalmente indicar que una obra portuaria crea un nuevo habitat que en la mayoría de los casos ocasiona un aumento de la biomasa que repercute en las cadenas tróficas preexistentes. Sin embargo también su propio emplazamiento puede hacer desaparecer sustratos mucho más ricos biológicamente o propiciar el desarrollo de rodofíceas que en algunos casos pueden estar conectadas con el desarrollo de las mareas rojas.

#### **4.7. EFECTOS SOBRE LA VEGETACION.**

##### **4.7.1. Grandes Presas y vegetación.**

Las afecciones a la vegetación terrestre y acuática son de gran interés al motivar importantes efectos indirectos en otros factores ambientales: paisaje, fauna, procesos morfodinámicos, etc.

Los cambios más importantes en la cubierta vegetal son: establecimiento de vegetación acuática en las márgenes del embalse; desaparición de la vegetación existente en el vaso de

la presa, siendo recomendable su total eliminación para evitar la eutrofización de las aguas; y desarrollo de actividades indirectas durante la construcción, e inducidas durante la explotación que conlleve la eliminación de esta cobertura o riesgo de incendios.

Es de especial interés un control sobre la evolución y desarrollo de la vegetación ribereña aguas abajo de la presa, y en el área de embalse.

#### **4.7.2. Puertos, obras en el litoral y vegetación.**

La vegetación acuática e intermareal es muy susceptible a las actuaciones antrópicas en estos medios.

Así, los dragados o cambios en las condiciones hidrodinámicas pueden afectar a zonas de posidonia ocenánica, que fijan el sedimento y ayudan a mantener por ejemplo los perfiles de equilibrio de las playas. La restauración a medio plazo de la cobertura vegetal original es muy difícil dada la invasión por especies oportunistas que degradan el medio.

#### **4.8. Efectos sobre el medio socioeconómico y patrimonio histórico-natural.**

Aunque se considera en principio la necesidad social del proyecto constructivo, la problemática suscitada es de gran interés y complejidad.

En el caso de las grandes presas existe una afección importante al sistema territorial, población, economía a nivel

micro y meso, etc, motivando una respuesta socio-política en estrategias integradas dentro de un adecuado marco de planificación, ordenación y gestión del territorio que evite las susceptibles conflictividades.

Los efectos sobre el patrimonio natural (puntos de interés geológico, faunístico, etc.), histórico o de interés social repercute significativamente en el desarrollo del proyecto.

Casos como Riaño, Lumbier, o Retuerta son antecedentes importantes, con cuyas lecciones de lógica sensata popular traspasan los ámbitos técnicos incidiendo en las distintas fases de la actividad.

Por ejemplo, cabe detenerse en el proyecto del embalse de Retuerta (Burgos) que implicaba la desaparición del Monasterio de San Pedro de Arlanza, entre otras construcciones de indudable "nervio histórico" (García, 1986). Pese al emplazamiento idóneo y rentabilidad del proyecto constructivo, el 26 de Febrero de 1986 el MOPU desestimó la realización del proyecto original por este motivo, iniciando otras alternativas a la regulación del río Arlanza.

Con objetivo de profundizar en algunos aspectos dentro de este apartado se puede consultar para grandes presas DGMA (1989), y para obras en el litoral CEPYC (1989).

#### **4.9. Alteración de la peligrosidad natural.**

Los riesgos naturales pueden verse mitigados o catalizados

de forma importante por las acciones que conllevan la realización de este tipo de proyectos.

Por una parte las presas ejercen un importante efecto laminando las avenidas, pero por otra se genera una actividad sísmica inducida, un aumento de los deslizamientos e inestabilidad de laderas en las márgenes, y en algunos casos hundimientos al reactivarse las redes kársticas. Algunos de estos efectos se consideran habitualmente a la hora del diseño de la presa, requiriendo inclusive estudios específicos: sismotectónico, riesgo de avenidas, estabilidad de laderas, erosión, etc.

En el dominio litoral, la peligrosidad por embate del oleaje para una determinada "área de sombra" queda mitigada al disipar, la energía de los trenes de ondas la infraestructura costera. Sin embargo la peligrosidad por erosión costera se ve incrementada al alterar los factores que inciden en el balance sedimentario.

##### 5. AGRADECIMIENTOS.

Todo ~~el~~ trabajo científico es resultado de la colaboración de numerosas personas. Sin embargo es importante destacar la paciente labor de Fátima Camacho, corrigiendo textos, uniformizandolo a la normativa y en definitiva pasando a la letra de Gutenberg mis manuscritos. En el ámbito técnico me han sido muy útiles las sugerencias y aporte documental de las siguientes personas: Nieves Hidalgo Castro, Silke Merayo Selbstaedt, Daniel Baretino Fraile, Ernesto Gallego Valcarce y Jesús Jordá Pardo.

Finalmente agradecer a F.J. Ayala Carcedo Jefe del Area de Ingeniería GeoAmbiental del ITGE la excelente disposición prestada para atender los comentarios directores del presente trabajo.

#### BIBLIOGRAFIA:

Ayala, F.J. (1990 a): Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. Bol. Geol. Min. Vol. 101-3, pp 456-467.

Ayala, F.J. (1990 b): Los peligros naturales en las evaluaciones de impacto ambiental en obras civiles. Bol. Geol. Min. Vol. 101-6, pp 905-918.

Ayala, F.J.; Jorda, J.F. (Ed). (1989): Geología Ambiental. Serie: Ingeniería GeoAmbiental, ITGE, Madrid, 257 pp.

Barettino (1991): Identificación y evaluación de impactos ambientales sobre la Gea. Curso de Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Serie: Ingeniería GeoAmbiental. ITGE. Madrid (en prensa).

Berenguer, J.M. (1978): Problemas sedimentarios de los puertos deportivos. Rev. Obras Públicas Mayo 1978, pp 379-392.

Carter, R.W.G: (1988): Coastal environments. Academic Press, Cambridge, Gran Bretaña, 617 pp.

CEDEX (1988 a): Curso sobre evaluación del impacto ambiental originado por la construcción de presas. Gabinete de Formación y Documentación del CEDEX (MOPU), Madrid 412 pp.

CEDEX (1988 b): Curso sobre geología ambiental. Gabinete de Formación y Documentación del CEDEX (MOPU), 600 pp.

Centro de Estudios de Puertos y Costas, C.E.P.Y.C. (1989): Propuesta de guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental de puertos. Apuntes del I Ciclo de Cursos Teórico-práctico de evaluación de impacto ambiental originado por la obra pública: E.I.A. obras en el litoral. C.E.P.Y.C., CEDEX (MOPU), Madrid 147 pp.

Comisión Internacional de Grandes Presas. ICOLD (1983). Las presas y el medio ambiente. Estudios Territoriales 10, Madrid, pp 171-208.

Comité Técnico de Medio Ambiente. Comité Nacional Español de Grandes Presas (1990): Comentario a la guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental. 2. Grandes Presas. Terceras Jornadas Españolas de Presas. Comité Español de Grandes Presas (Ed.), Barcelona, 798 pp.

- Da Cruz, H. (1989): Aprovechamiento zoológico de los embalses. Rev. MOPU n°. 331, pp 58-62.
- Diez, J.J.; Aguilar, J.; Escobar, V.A. (1988): Ría de Foz: solución a un problema portuario costero. 21 Conferencia Internacional de Ingeniería de Costas, Torremolinos. Libro de resúmenes. Col. Ing. Caminos, Canales y Puertos, Madrid, pp 393-394.
- Dirección General de Medio Ambiente, DGMA (1989): Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental, n° 2 Grandes Presas, Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 200 pp.
- Dirección General de Obras Hidráulicas (1986): Inventario de presas españolas. Centro de publicaciones, Secretaría General Técnica (MOPU), Madrid, 363 pp.
- Enríquez, F. y Berenguer, J.M. (1986): Evaluación metodológica del impacto ambiental de las obras de defensa de costas, Monografías del CEDEX n° 10, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 40 pp.
- Enríquez, F. y Berenguer, J.M. (1987): Evaluación metodológica del impacto ambiental de un puerto deportivo, Monografías del CEDEX n° 13, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 42 pp.
- Fernández-Rañada, J.C. (1982): Trazadores fluorescentes: utilización en el estudio del movimiento de sedimentos en las proximidades del litoral. Monografías del CEDEX n° 4, MOPU, Madrid, 35 pp.
- Ferrero, M.; y Vilas, F. (1988): Hidrodinámica, procesos deposicionales y erosivos en canales internacionales de la bahía de San Sebastian, Tierra de Fuego, Argentina. Thalassas, pp 89-94.
- García, C. (1986): Salvado de las aguas. Rev. MOPU n° 331 pp 16-20.
- Giró, S.; Catasús, X; y Barriuso, J. (1989): Algoritmos de comparación de imágenes: un método para el análisis de imágenes multitemporales en teledetección. III Reunión científica del grupo de trabajo en teledetección. A.E.T. (Ed). Madrid, pp 125-131.
- Gómez Orea, D. (1988): Evaluación de Impacto ambiental. Ciudad y Territorio 75-1, Madrid pp 5-32.
- Griggs, G.B. (1987): Littoral cells and harbor dredging along the California Coast. Environ. Geol. Water Sci. Vol. 10 n° 1, pp 7-20.
- Inst. del Territorio y Urbanismo (1987): Análisis del litoral español: Diseño de políticas territoriales. Secretaría General Técnica (MOPU), Madrid, 243 pp.

Jaramillo, A. (1989): Aprovechamiento zoológico de los embalses. Rev. MOPU. n° 365, pp 50-55.

Martínez Cendrún, P. (1984): Dinámica y sedimentación en el estuario del Asón (Cantabria). Trabajos de Geología Univ. de Oviedo pp. 175-197.

MOPU (1985): Política de costas: Plan de actuaciones 1983-1990. Documentos del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Servicio de Publicaciones, Secretaría General Técnica (MOPU), Madrid, 209 pp.

MOPU (1989 a): Guía de las costas de España. Revista MOPU n° 367 (especial). Madrid 224 pp.

MOPU (1989 b): Ley de Costas. The Shores Act. Secret. Gen. técnica, MOPU, Madrid, 142 pp.

MOPU (1990): Guía de los ríos de España. Revista MOPU n° 378 (especial). Secretaría General Técnica, Madrid pp.

Nichols, M; Diaz, R.J.; Schaffner, L. (1990): Effects of hopper dredging an sediment dispesion, Chesapeake Bay. Environ. Geol. Water. Sci. Vol 15, N° 1, pp 31-43.

Peña, C. (1989): Los efectos de los puertos deportivos sobre la estabilidad de las playas mediterráneas. Obra pública n° 11. "El Impacto Ambiental", pp 98-105.

Rolan, E; Vilas, F. y Nombela, M.A. (1987): Fauna malacológica de los estuarios-lagoones y sus variaciones por cambio de salinidad. Iberus 7 (1) pp. 59-65.

Sanjaume, E. (1985): Las costas valencianas. Sedimentología y morfología. Tesis doctoral, Univ. de Valencia, Sección de Geografía, Valencia, 505 pp.

Serra, J.; Calafat, A.; Canals, M. (1989): Dinámica sedimentaria de una costa subalimentada, respuesta a la regeneración artificial. XII Congr. Esp. Sedim., Vol. II. Robles, S., García-Mondejar, J. y Garrote A. (Ed), Bilbao. pp 239-249.

Soler, F; González del Río, J; Díez, J.J. (1988): Estudio de las variaciones en un ecosistema eutrófico del litoral mediterráneo español: datos a tener en cuenta en los vertidos de nutrientes al litoral del ovalo valenciano. 21 Conferencia Internacional de Ingeniería de Costas, Torremolinos, Libro de resúmenes. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, pp 269-270.

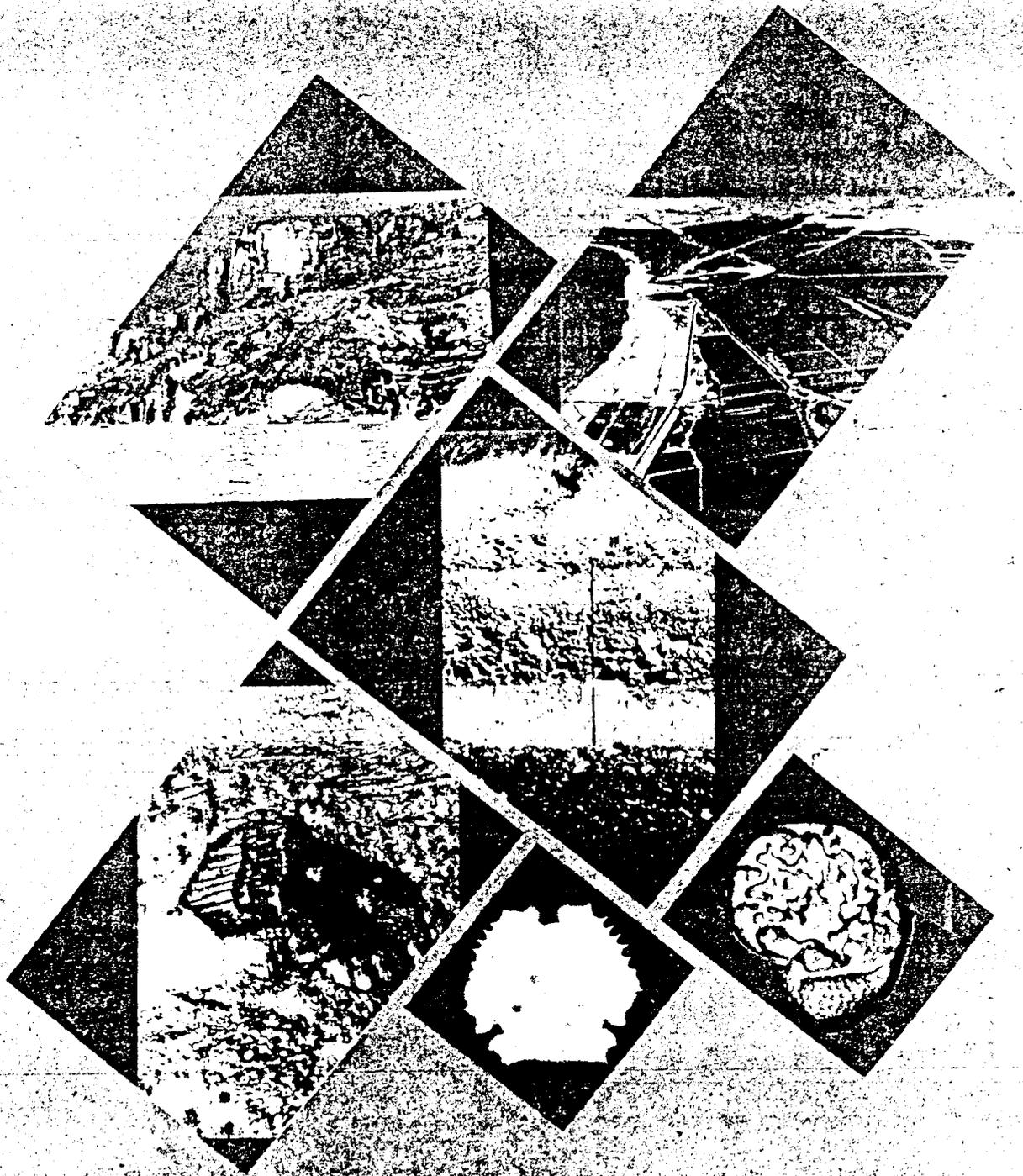
Toja, J.: La calidad del agua de los embalses españoles. Estratos n° 13, pp 20-26.

Vilas, F. (1985): Ejemplo de apliación de un modelo sedimentológico en la evolución de un medio costero. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, Vol 10 pp 10-63.

ASOCIACION ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DEL CUATERNARIO

# REUNION NACIONAL SOBRE CUATERNARIO

Valencia, 16-20 de septiembre de 1991



MEDIOS SEDIMENTARIOS, CAMBIOS AMBIENTALES Y HABITABILIDAD

DEPARTAMENT DE GEOGRAFIA  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

SERVEI D'INVESTIGACIÓ TERRITORIAL  
DIPUTACIÓ DE VALÈNCIA

hidrodinámica sedimentaria de los ríos que desembocan en esta llanura. Los tres colectivos o tipos de arena que se pueden distinguir son:

-**Arenas aluviales.** Son poco maduras y es característica la ausencia de bioclastos marinos. Proceden directamente de aguas aluviales, sobre todo del Ter.

-**Arenas costeras.** Aunque parecidas al colectivo anterior presentan una mayor madurez; es característica la presencia de bioclastos marinos y la ausencia total de bimodalidad en el tamaño de grano. Proceden directamente de la playa de Pals e indirectamente de los ríos que en ella desembocan, sobre todo el Ter.

-**Arenas interiores.** Es un colectivo de arenas muy diferenciado de los anteriores presentando una fuerte bimodalidad y la presencia de una importante cantidad, aunque con poca diversidad de microfauna marina eurihalina. Para poder explicar las características que presentan estas arenas interiores se ha pensa

do en una hipotética laguna como área fuente de estas arenas; estaría posiblemente comunicada con el mar y a ella llegarían las aguas aluviales de, por lo menos, dos orígenes diferentes (Ter y Daró).

El conocimiento del origen de estos depósitos eólicos y de su aerodinámica (CROS, 1987), ha permitido orientarnos sobre la hidrodinámica sedimentaria de esta zona. Fruto de estos resultados es el mapa de la Fig. 1, donde se puede observar el ciclo evolutivo de estas arenas.

#### Bibliografía.

CROS, L., 1987: *Estudi sedimentològic dels dipòsits eòlics del Baix Empordà*. Tesis de Llicenciatura, Fac. de Geologia, Universitat de Barcelona.

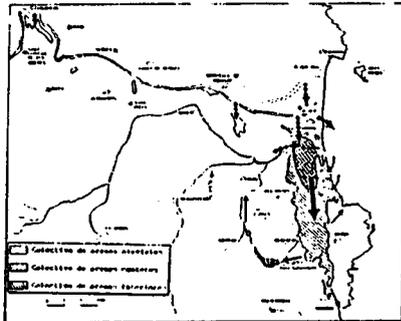


FIG. 1. Distribución de los depósitos eólicos en la zona de Empordà. El ciclo evolutivo de las arenas interiores.

## CONSIDERACIONES SOBRE LA EVOLUCION ANUAL DEL NIVEL MEDIO RELATIVO DEL MAR. ESTACION MAREOGRAFICA ALICANTE I (1982-1987)

HERNANDEZ RUIZ, M.

Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto GeoMinero de España. C/ Ríos Rosas 23. 28003 Madrid.

Las series de información provenientes de estaciones mareográficas costeras, reflejan un registro de las variaciones relativas del nivel en la lámina de agua litoral, con distintos sistemas de medida.

El tratamiento de estos datos mareográficos para investigaciones fenomenológicas a escala global, implica un conocimiento profundo de la contribución de distintos factores intrínsecos y extrínsecos al sistema con influencia en la estocasticidad de las medidas.

De esta forma, como paso previo, se consideraron en un análisis hiperanual (1874-1987) las fluctuaciones y trayectorias fuera del contexto de los procesos naturales, evaluando la calidad de la información. Posteriormente se adoptó un marco de referencia temporal reciente (1982-1987), que garantizara una influencia significativamente menor de estos "ruidos".

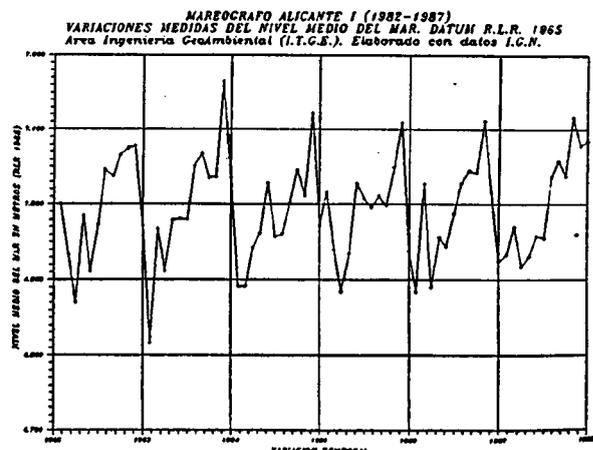
Las variaciones medidas del nivel medio del mar en la estación mareográfica ALICANTE I, marcan una trayectoria anual asimétrica con máximos generalmente en noviembre y mínimos en febrero-marzo. Estos datos reflejan que en el transcurso del invierno se originan descensos de los niveles medios mensuales que superan los 25 cm.

Un análisis causal con diversos factores: astronómicos, oceanográficos, climáticos y neotectónicos, implica por una parte la importancia de la presión atmosférica en la corrección de las fluctuaciones, y por otro la presumible incidencia de factores oceanográficos y climáticos en la asimetría de las trayectorias.

El estudio comparativo con las estaciones de Cartagena, Almería, Cádiz y Tenerife indica una gran similitud entre las trayectorias de las tres primeras. Por el contrario Tenerife presenta los máximos en los meses de Agosto-Septiembre y amplitudes de menor orden.

A escala global se observan tendencias anuales similares a las publicadas por otros autores en el contexto del Mediterráneo Occidental.

Finalmente, la investigación de estas variaciones implica a la configuración de los fenómenos oceanográficos de carácter térmico, y a los cambios de salinidad y temperatura del agua marina, como los responsables de esta dinámica.



# **CONSIDERACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL NIVEL MEDIO RELATIVO DEL MAR. ESTACIÓN MAREOGRAFICA ALICANTE-I (1982-1987).**

**HERNANDEZ RUIZ, M. \***

- \* Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España.  
c/ Ríos Rosas, 23. 28003 - MADRID

## **RESUMEN.**

Los cambios estacionales del nivel medio del mar entre Alicante y Cadiz, presentan periódicamente valores máximos en Octubre-Noviembre y mínimos al final del invierno, con un rango de amplitud anual de 20 a 35 cm.

El análisis de distintos factores climáticos y oceanográficos sugiere la importancia del intercambio con el Océano Atlántico, las variaciones climáticas estacionales y la formación de aguas profundas durante el invierno.

Se sugiere un modelo de funcionamiento holostérico basado en las características hidrográficas, y los cambios en la interfaz entre las aguas superficiales y profundas a lo largo del año.

Estos aspectos pueden ser útiles para comprender los mecanismos de las variaciones del nivel del mar en el pasado reciente.

**PALABRAS CLAVE:** Mediterráneo, nivel del mar, estacional, España.

## **ABSTRACT**

The seasonal sea-level changes between Alicante and Cadiz presents periodically highest values in October-November and minimum at the end of winter, with an annual range of amplitude from 20 to 35 cm.

The analysis of different climatic and oceanographic factors, suggest the importance of: water exchange with the Atlantic Ocean, the seasonal climatic variations and deep waters formation during the winter.

It's suggested a model of steric functioning based on the hydrographic characteristics, and changes in the interface between shallow and deep waters along the year.

This aspects can be helpful to understand the sea level change in the recent past.

**KEY WORDS:** Mediterranean, sea level, seasonal, Spain.

## **I.- INTRODUCCIÓN**

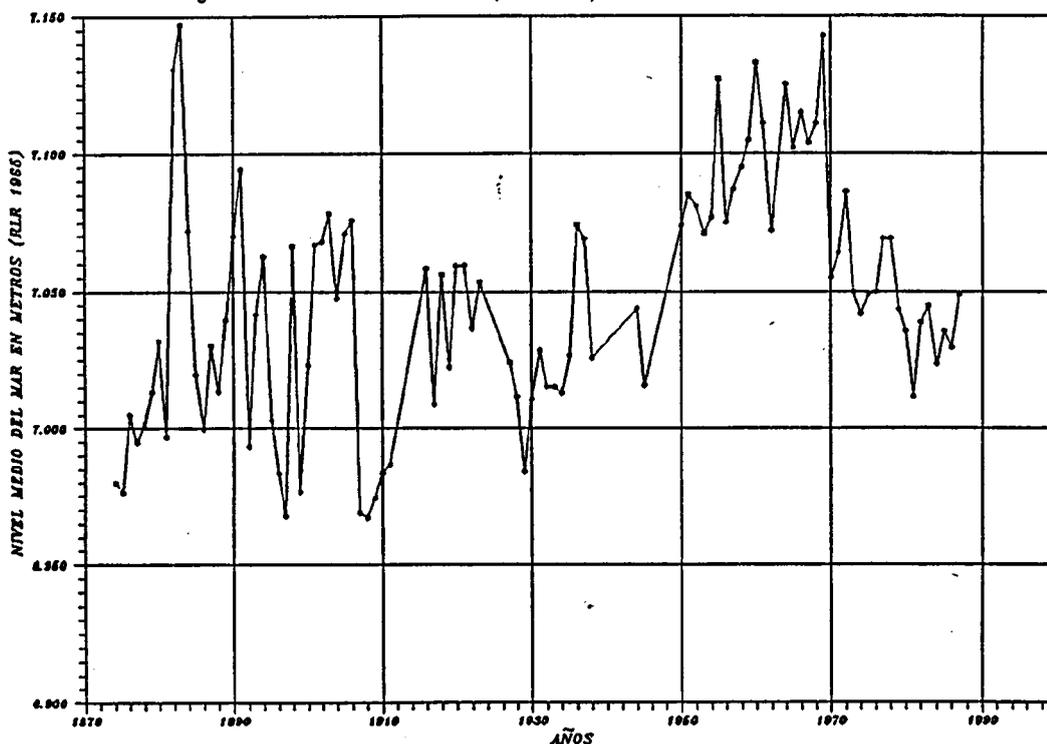
Los registros mareográficos más antiguos existentes en España comienzan a finales del siglo XIX con las estaciones pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional de Alicante-I, Santander-I y Cádiz, si bien hasta la actualidad estas dos últimas presentan importantes lagunas en las series de datos.

En el caso de la estación Alicante-I, base principal de la red geodésica española, la uniformización y enlace al datum R.L.R. 1965 de las series de valores calculados del nivel medio anual del mar, ha permitido el análisis de estas variaciones relativas para el período temporal 1874-1987 (HERNÁNDEZ RUIZ y AYALA-CARCEDO, 1991).

En dicho trabajo, entre otros aspectos, una vez calibrados los rangos de incertidumbre experimental y la singularidad de algunos datos anómalos o defectuosos, se considera que la presumible amplitud máxima del nivel medio anual del mar para el período 1950-1984 es de unos 13,60 cm. en Alicante-I, casi la mitad del rango de variación estacional de los niveles medios mensuales. Este último hecho plantea la presumible incidencia fenomenológica de estas importantes variaciones estacionales, en las tendencias eustáticas a más largo plazo.

Como punto de partida en la selección del marco de referencia temporal para el estudio de los cambios estacionales, se ha sectorizado la serie hiperanual obtenida para la estación mareográfica Alicante-I, reflejándose un tramo actual con tendencia ascendente 1982-1987, ocurrido tras un importante descenso de orden decimétrico que comprende la década de los años 70 y principios de los 80 (Figura 1).

MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1987)  
 VARIACIONES MEDIDAS DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. DATUM R.L.R. 1965  
 Area Ingeniería GeoAmbiental (I.T.C.E.). Elaborado con datos I.C.N.



R.L.R.: Referencia local revisada (-10.400 m referido N.P.1)

FIGURA 1

En un ámbito regional QUEREDA SALA y LÓPEZ OLIVARES (1998) sugieren similares variaciones hiperanuales en Castellón a partir de las lecturas mareográficas realizadas en el puerto, asociando a estos cambios en el nivel medio del mar algunos rasgos geomorfológicos (rasas y escarpes) existentes en la franja litoral de Benicasim. Asimismo, dichos autores señalan que dicho descenso "parece ser generalizado en las costas valencianas".

Por otra parte, en un estudio desarrollado por el Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia con datos de los niveles medios anuales en los últimos cien años para quince estaciones mareográficas del Mediterráneo Occidental, se indica la existencia de un cierto comportamiento homogéneo en el conjunto del área, con especial similitud en las oscilaciones comprendidas entre cinco y diez años (PARDO PASCUAL, 1989).

Finalmente, es necesario señalar que los datos utilizados en el presente trabajo referentes al nivel medio del mar, han sido facilitados por el Instituto Geográfico Nacional y corresponden

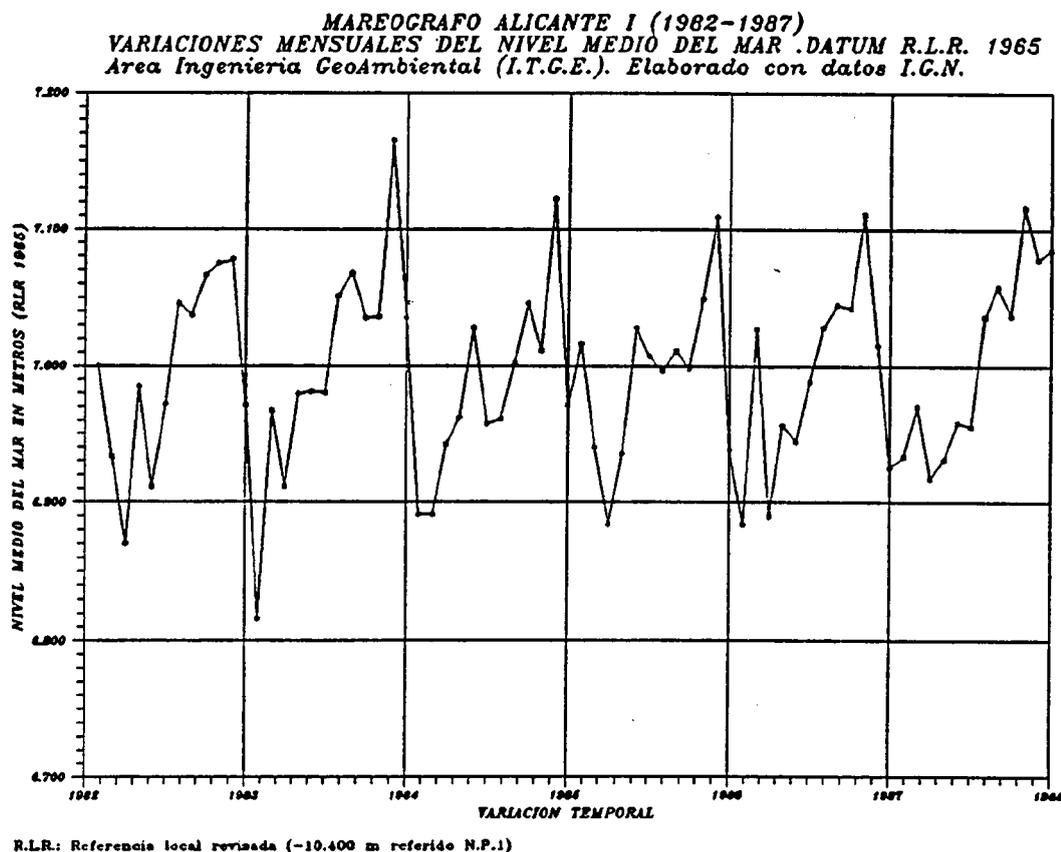
a la serie uniformada conforme los criterios del Permanent Service For Mean Sea Level, que bajo el auspicio de la UNESCO, coordina este tipo de información a nivel mundial.

## **II.- LA TENDENCIA ANUAL DEL NIVEL MARINO: CONSIDERACIONES DE ÍNDOLE REGIONAL**

La variación de los niveles medios mensuales del mar en la estación Alicante-I durante los años 1982-1987 (Figura 2) presentan trayectorias periódicas anuales marcadamente asimétricas, con máximos en Octubre-Noviembre, coincidiendo con el otoño, y mínimos generalmente al final del invierno.

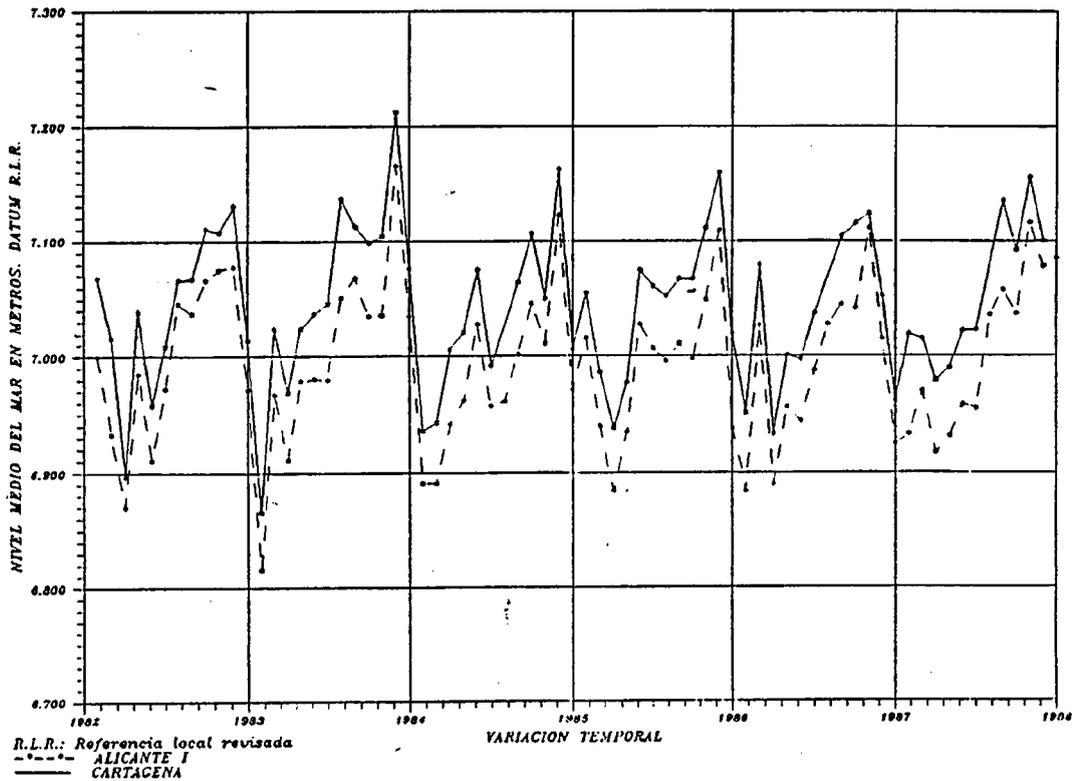
La máxima amplitud anual en el período considerado se registra a lo largo de 1983 entre los meses de Enero y Noviembre, con unos 35 cm. de desnivel. No obstante, los cambios más drásticos se originan sistemáticamente durante el invierno con diferencias mensuales en los valores que alcanzan los 17 cm. (Noviembre-Diciembre, 1985).

Un análisis comparativo con los datos procedentes de otras estaciones mareográficas españolas para el mismo intervalo temporal (Figuras 3 y 4), denota una gran analogía en las trayectorias de Alicante-I, Cartagena, Almería-I y Cádiz, si bien en la estación de Tenerife se presentan unas oscilaciones estacionales diferentes con máximos del nivel medio en Agosto-Septiembre y amplitudes de menor orden.

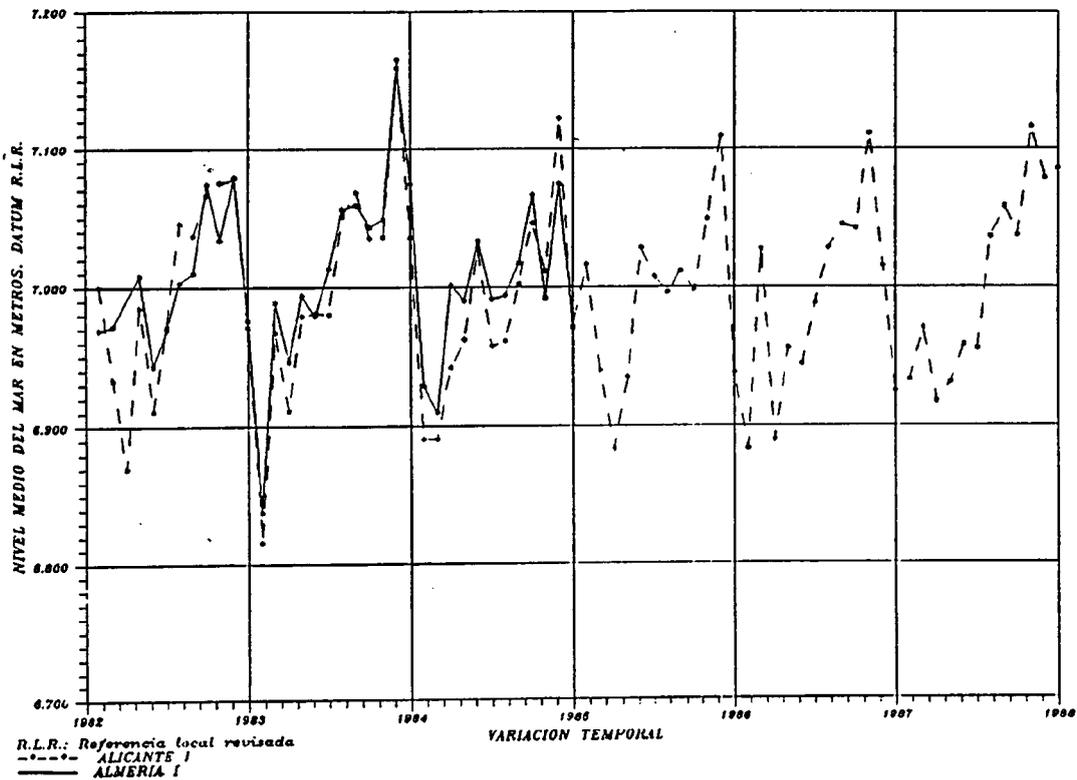


**FIGURA 2**

**ESTACIONES MAREOGRAFICAS CARTAGENA Y ALICANTE I (1982-1987)**  
**VARIACIONES MEDIDAS DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. DATUM R.L.R.**  
 Area Ingenieria GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos I.G.N.

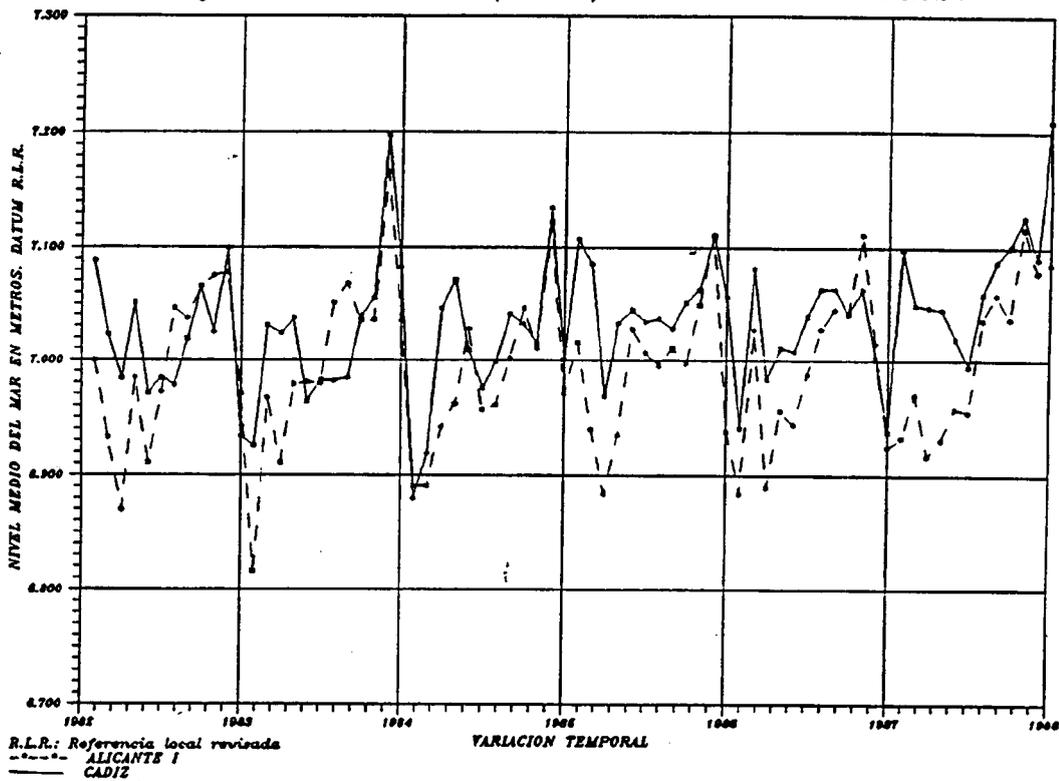


**ESTACIONES MAREOGRAFICAS ALMERIA I - ALICANTE I (1982-1987)**  
**VARIACIONES MEDIDAS DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. DATUM R.L.R.**  
 Area Ingenieria GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos I.G.N.

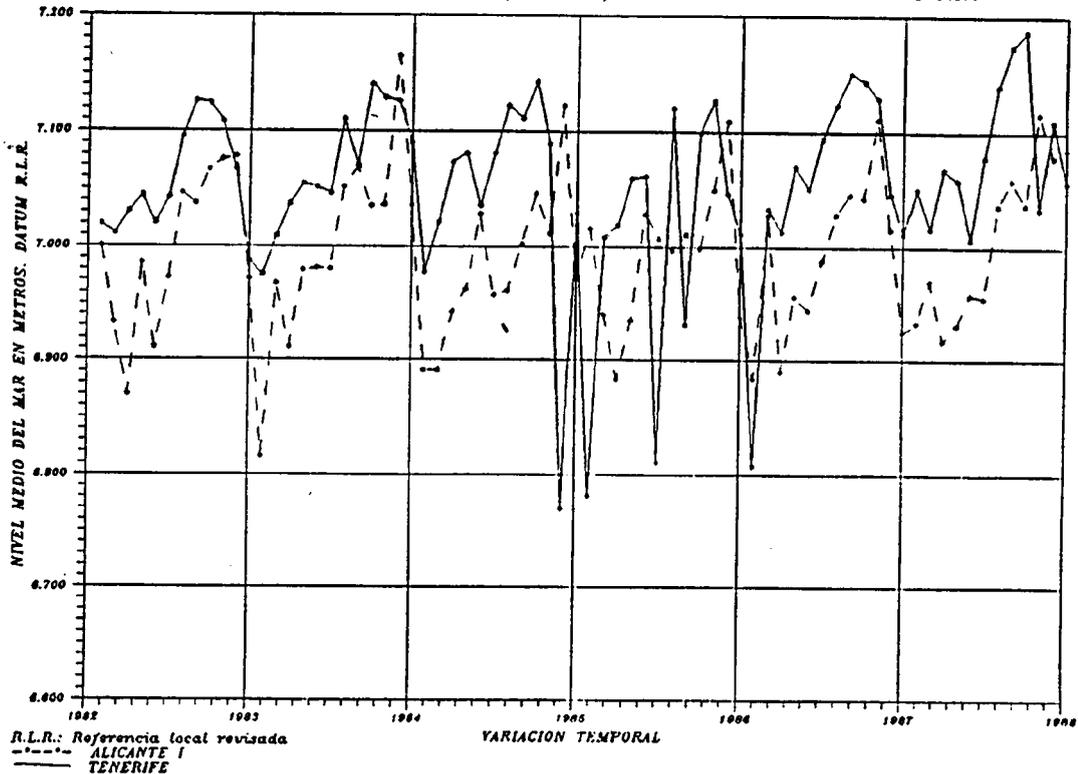


**FIGURA 3 a y b: Variación estacional del nivel medio mensual del mar en la costa Suroriental española. La trayectoria anual es similar en las estaciones Alicante I, Cartagena y Almería I.**

**ESTACIONES MAREOGRAFICAS ALICANTE I - CADIZ (1982-1987)**  
**VARIACIONES MENSUALES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. DATUM R.L.R., P.S.M.L.**  
 Area Ingenieria GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos I.G.N.



**ESTACIONES MAREOGRAFICAS TENERIFE - ALICANTE I (1982-1987)**  
**VARIACIONES MEDIDAS DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. DATUM R.L.R.**  
 Area Ingenieria GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos I.G.N.



**FIGURA 4 a y b:** Comparación entre las variaciones estacionales registradas en Alicante I, frente a las estaciones Atlánticas de Cadiz y Tenerife I. La estación de Cadiz presenta una tendencia anual característica mediterránea, ocasionada por la influencia oceanográfica del Estrecho de Gibraltar.

El tratamiento multitemporal (1952-1983) de la serie de lecturas mareográficas efectuadas en el Puertode Castellón (QUEREDA SALA y LÓPEZ OLIVARES, 1991), indica una tendencia estacional similar a los casos anteriores, reflejando asimismo un marcado descenso del nivel medio del mar durante el invierno.

En el ámbito del Mar Mediterráneo, los datos mensuales procesados por GOLDSMITH y GILBOA (1991), considerando diez estaciones representativas, reflejan que las series de Gibraltar (1961-1983), Alicante (1969-1978) y Trieste (1934-1974) con tendencias anuales similares, contrastan con las obtenidas en el extremo del Mediterráneo Oriental (Ashdod en Israel y Piraievs en Grecia), donde los niveles máximos se alcanzan durante el período estival.

Estas consideraciones sugieren un carácter oceanográfico regional en la evolución anual de los niveles medios mensuales ligado, presumiblemente, a la interacción de los distintos modelos regionales de funcionamiento hidrográfico marino y la dinámica estacional meteorológica.

### III.- LA DINÁMICA BAROMÉTRICA, EFECTOS ASOCIADOS Y LAS VARIACIONES ESTACIONALES DEL NIVEL DEL MAR

La respuesta directa de la superficie del mar a las variaciones de presión atmosférica *sensu stricto*, denominado efecto de inversión barométrica, es inversamente proporcional a la densidad del agua del mar y al valor de aceleración de la gravedad en ese área. Si se adoptan unos valores standard de densidad  $\rho = 1.026 \text{ kg.m}^{-3}$  y aceleración  $g = 9,80 \text{ m.s}^{-2}$ , se obtiene un gradiente  $-0,993 \text{ cm/mb}$  para cada incremento de presión atmosférica sobre el mar, relación que se utiliza habitualmente en las tablas de corrección para la oscilación de las mareas.

En la práctica, esta relación no es exacta, debido a la interacción de otros efectos directos e indirectos ligados a las fluctuaciones de presión, como son la deformación originada en la superficie del agua ante la incidencia del viento o la sobreelevación inducida en las áreas de costa. No obstante, y pese el nivel de incertidumbre, es generalmente bien asumido este gradiente para la corrección de los niveles medios mensuales del mar (PUGH, 1987).

*VARIACION DE LA PRESION ATMOSFERICA EN ALICANTE (1982-1987).  
Area de Ingeniería GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos del I.N.M.*

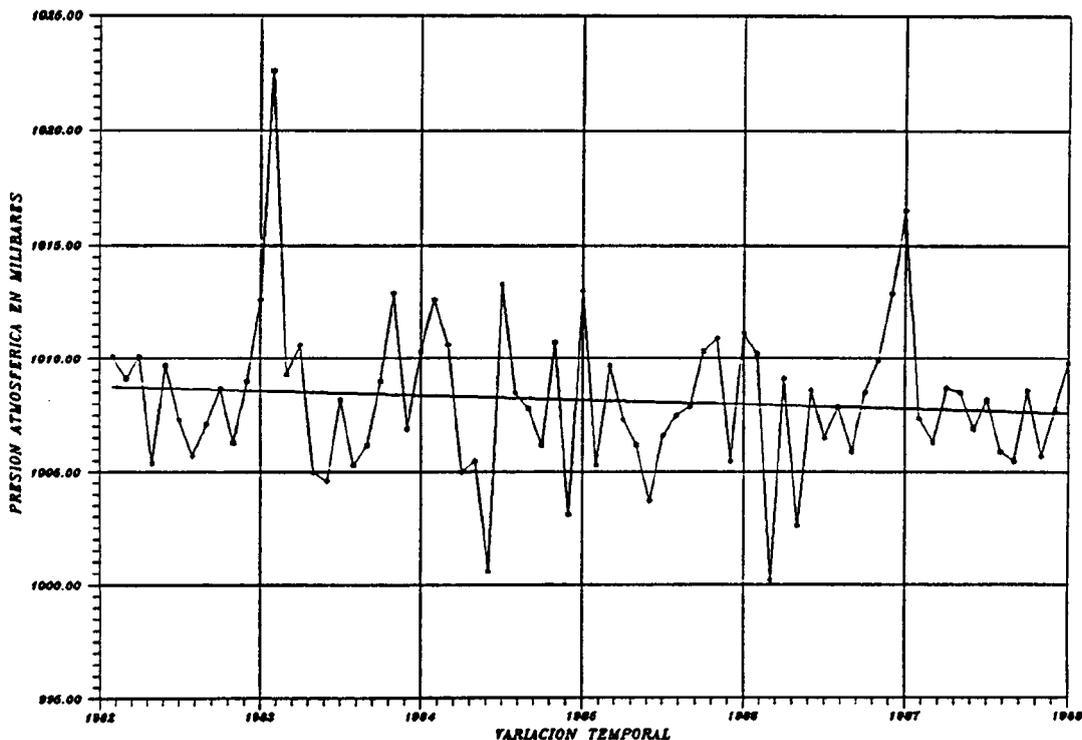
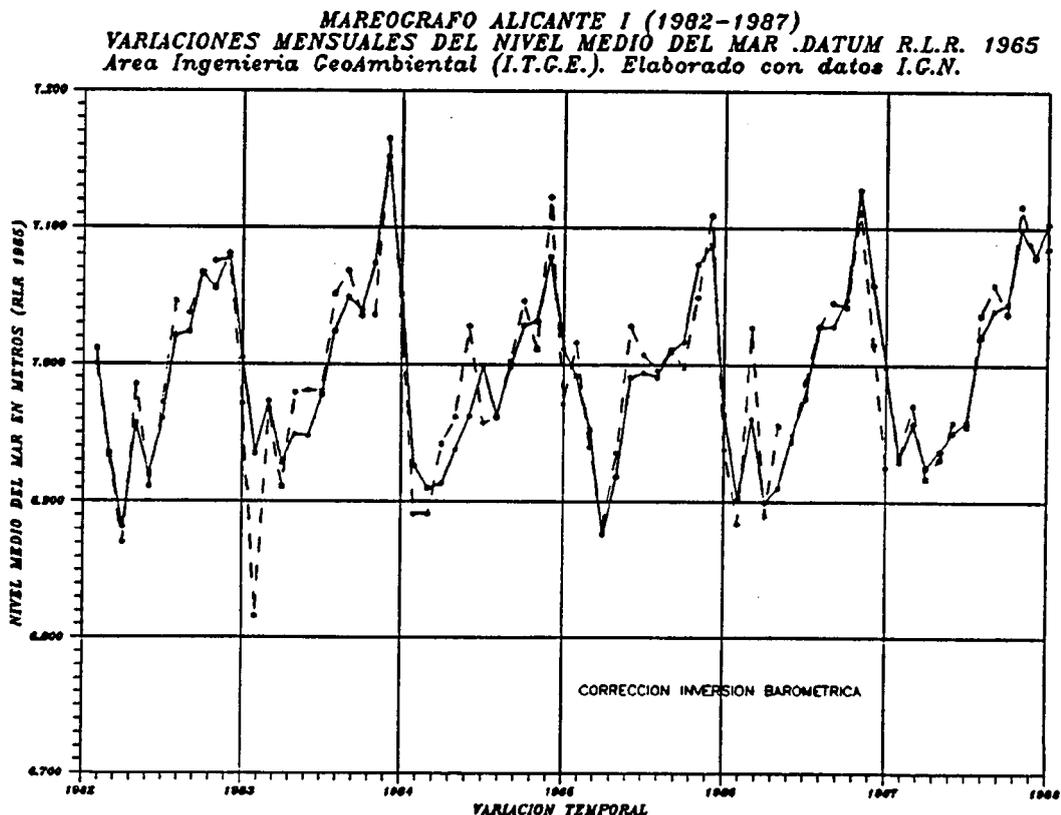


FIGURA 5

Si se relacionan, en el caso de Alicante, los datos del nivel medio mensual del mar y las fluctuaciones de presión atmosférica respecto un nivel de referencia (Figura 5), se obtiene que para el período temporal 1982-1987 el gradiente es de  $-0,85$  cm/mb. Otros autores evalúan este efecto encontrando valores que oscilan entre  $-1,27$  cm/mb (Newlyn, Canal de la Mancha) a  $-0,04$  cm/mb (Southend, Mar del Norte), ligando estas susceptibles diferencias respecto al valor teórico al efecto adicional del viento, bien correlacionado con la presión atmosférica (PUGH, 1987).

Por otra parte, las variaciones de presión atmosférica en el dominio de la alta frecuencia, influye en fenómenos como las secas y resacas. Estas oscilaciones presentan generalmente magnitudes decimétricas, si bien en Ciudadela (Menorca) y con carácter excepcional, se han alcanzado amplitudes de 2-3 metros con períodos de resonancia entre 5-10 minutos, los cuales han originado importantes daños en la costa (RAMIS y JANSÁ, 1990). Sin embargo, es en el dominio de las bajas frecuencias donde su contribución a la varianza del sistema es especialmente importante, caso del Mar Menor, donde el intercambio de aguas con el Mediterráneo para períodos superiores a las 54 horas, es forzado por la diferencia de potencial existente entre ambas masas de agua (AREVALO, 1988). Asimismo, a mesoescala, las variaciones subinerciales del flujo marino entre Atlántico y Mediterráneo a través del Estrecho de Gibraltar, con períodos desde algunos días a meses, son principalmente controladas por las fluctuaciones de presión atmosférica existentes en el Mediterráneo (CANDELA, et al, 1989; CANDELA et al, 1990).

En el caso objeto de estudio, la corrección por el efecto de inversión barométrica en los valores del nivel medio mensual del mar en Alicante (1982-1987), considerando el gradiente  $-0,85$  cm/mb, indica la importancia de este factor atmosférico en el ajuste de las trayectorias (Figura 6). Sin embargo, el mantenimiento de las tendencias anuales sugiere la interacción de otros factores dinámicos con cobertura extensiva que justifiquen la semejanza regional existente a escala sinóptica de estos cambios estacionales marinos.



R.L.R.: Referencia local revisada (-10.400 m referido N.P.1)

**FIGURA 6**

#### IV.- ASPECTOS CLIMATICOS EN LOS CAMBIOS ESTACIONALES Y SECULARES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

En el contexto hiperanual es conocida la similitud existente entre las curvas de variación de las temperaturas medias anuales del aire y la tendencia secular actual en el nivel medio del mar (HANSEN et al, 1981).

GORNITZ et al (1982), con datos mareográficos costeros consideran que la elevación de unos 12 cm. a escala global del nivel medio del mar durante los últimos cien años se relaciona con fenómenos de expansión térmica en las capas superiores de los océanos. Asimismo, estos autores sugieren una relación lineal entre la tendencia global de la temperatura del aire y el nivel medio del mar con un gradiente de 16 cm/°C y un desfase de 18 años, si bien la información previamente ha sufrido un suavizado mediante un filtro lineal de 5 años.

En el ámbito del Mediterráneo Occidental HERNÁNDEZ RUIZ y AYALA-CARCEDO (1991), tras analizar la fiabilidad en los datos calculados de los niveles medios anuales obtenidos a partir de los registros (estación mareográfica Alicante I), sugieren un gradiente de unos 3 cm./°C con un retraso en la respuesta del nivel del mar en torno a 3 años, para la suave variación temporal de las temperaturas registradas en Alicante entre 1950-1984.

La temperatura del aire a nivel estacional (Figura 7), presenta generalmente un máximo muy marcado durante los meses estivales (Julio-Agosto). De forma similar, la temperatura superficial del agua en el Mediterráneo Occidental obtenida integrando medidas *in situ* e información procedente de satélite (LÓPEZ GARCÍA, 1991) refleja una amplitud térmica semejante a la atmosférica, si bien el máximo se encuentra desplazado a los meses de Agosto-Septiembre, lo cual no coincide con los valores más altos que de forma anual se presentan en el nivel marino (Octubre-Noviembre).

VARIACION MENSUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE. ALICANTE (1982-1987)  
Area Ingeniería GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos del I.N.M.

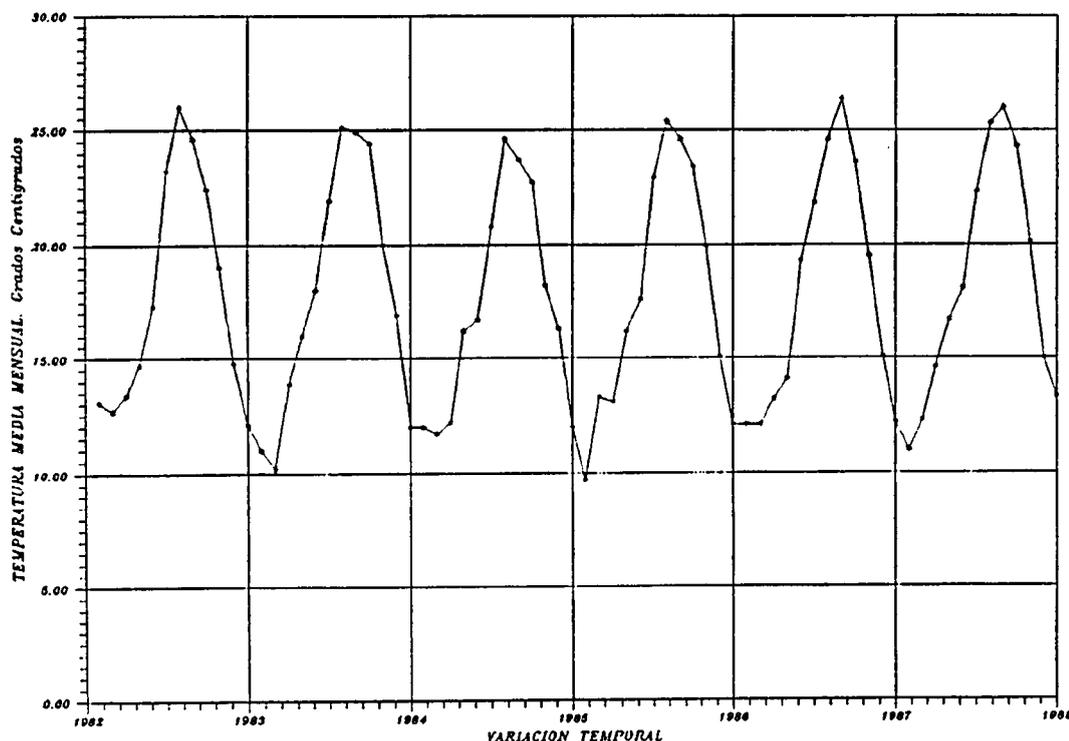


FIGURA 7

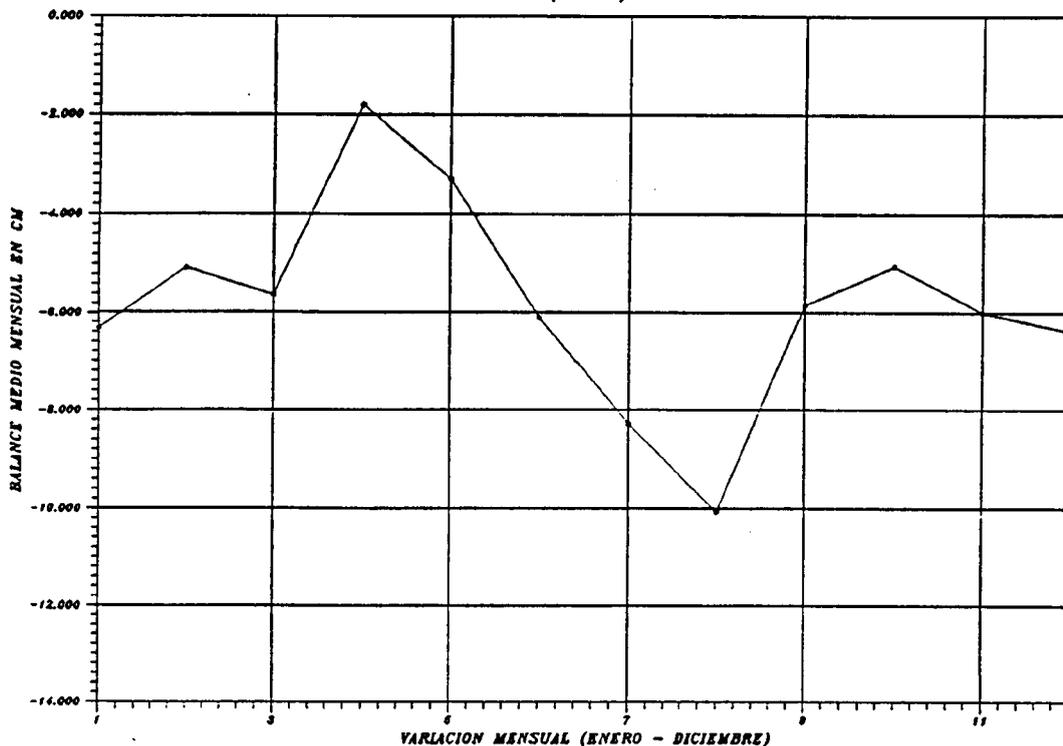
En el Mar Mediterráneo la evaporación excede a la precipitación y la descarga fluvial con un balance deficitario anual de orden métrico. Las mayores tasas de evaporación están motivadas principalmente cuando la temperatura de la superficie del mar es más alta que la del aire y la incidencia del viento es significativa, favoreciéndose el transporte del vapor de agua y el intercambio energético atmósfera-oceano.

LÓPEZ JURADO (1983) evalúa la evaporación media mensual en el Mar Balear en base a las series climáticas existentes calculando la tasa de evaporación en varias estaciones, entre ellas Alicante. Los mayores valores de evaporación no se producen exclusivamente coincidiendo con el máximo térmico estival ya que la velocidad del viento es moderada y la humedad del aire es alta (LÓPEZ GARCÍA, 1991), sino a finales del verano y durante el otoño e invierno. Por otra parte, las evaporaciones más bajas presentan un mínimo bien marcado a nivel regional en Abril y Mayo.

Si se efectúa un simplificado balance entre precipitación y evaporación del agua del mar para el caso de Alicante (Figura 8), los mayores déficits se sitúan en los meses de Julio y Agosto, mientras que durante los meses de Octubre-Noviembre (valores máximos del nivel del mar) la magnitud del balance es semejante al período Diciembre-Marzo, meses durante los cuales se originan anualmente drásticos descensos marinos.

Algunos autores atribuyen un importante papel en estas variaciones estacionales a los efectos del viento. En el caso de Alicante GOLDSMITH y GILBOA (1986), consideran la coincidencia del predominio de vientos fríos y secos procedentes de tierra durante el invierno con el descenso del nivel marino, y viceversa, durante los meses de ascenso.

**BALANCE ANUAL PRECIPITACION - EVAPORACION MARINA EN ALICANTE.**  
Elaborado con datos de LOPEZ JURADO (1983) e Instituto Nacional de Meteorologia



**FIGURA 8**

La acción del viento puede ocasionar la aparición de corrientes inducidas en el agua que debido al efecto de Coriolis se configuran generalmente conforme la espiral de Eckman. El efecto del viento en profundidad a veces condiciona o perturba los flujos generales (HAN et al, 1982), además de contribuir a los fenómenos de afloramiento de aguas frías y a los procesos de mezcla de las aguas superficiales marinas con los niveles profundos (STOWE, 1987).

En este sentido, eventos meteorológicos como las tormentas, temporales, vientos huracanados, etc., pueden originar fluctuaciones o cambios en la interface existente entre las aguas superficiales y las aguas densas profundas.

En el ámbito del Estrecho de Gibraltar se ha sugerido que la fuerza del viento local tiene una destacada influencia en la circulación, ocasionando alteraciones en la media mensual del flujo entre Atlántico y Mediterráneo (GIL FERNANDEZ, 1985 b; GARRET et al, 1989).

#### **V.- EL FLUJO DE INTERCAMBIO EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR. LA TERMOCLINA ESTACIONAL Y LA FORMACION DE AGUAS PROFUNDAS**

Desde un punto de vista oceanográfico, las distintas masas o tipos de agua se caracterizan fundamentalmente por su temperatura y salinidad, presentando una compleja distribución espacio-temporal.

El rasgo fisiográfico más significativo en el Mar Mediterráneo por su trascendencia en la circulación general y en las características hidrográficas, es el Estrecho de Gibraltar.

La interface existente entre las denominadas aguas de procedencia atlántica que entran en el dominio Mediterráneo y el flujo de salida profundo de aguas más densas, es considerado clásicamente por distintos autores la superficie isohalina del 37,5‰, la cual presenta variaciones significativas estacionalmente (BORMANS et al, 1986; CANDELA et al, 1989; GARRET et al, 1989; GIL FERNANDEZ, 1985 a-b y 1988).

El volumen de transporte de intercambio subinercial en el Estrecho de Gibraltar, está bien correlacionado con las fluctuaciones de presión atmosférica sobre el Mediterráneo, siendo el 84% de la varianza observada de índole barotrópica (CANDELA et al, 1989). Por otra parte, a nivel estacional e interanual los mismos autores sugieren que las variaciones en el flujo son principalmente baroclínicas, al presentarse en estos períodos temporales gradientes en las superficies isotermas e isohalinas que intersectan las superficies isobáricas de profundidad, si bien su mecanismo está sujeto a debate.

El fenómeno oceanográfico con mayor trascendencia en el Mediterráneo es la formación de las denominadas aguas profundas o de invierno, con densidades especialmente altas que superan los 1.029 kg.m<sup>-3</sup>. Asimismo este hecho a escala global solamente es conocido en el Atlántico Norte (Sur de Groenlandia), Artico y en el dominio circumpolar Antártico, siendo el responsable de la renovación de las aguas profundas con una notable importancia en los grandes ciclos de la geosfera.

En el Mar Mediterráneo el desarrollo de la termoclina estacional se relaciona por una parte con un aumento en la entrada de aguas superficiales de procedencia Atlántica a través del Estrecho respecto la época invernal, y por otra, con un susceptible efecto barrera temporal a nivel dinámico (ondas internas, flujos, movimientos convectivos, etc) marcado por el contraste de densidades existentes con las aguas profundas.

La enorme capacidad calorífica del mar presumiblemente permite una cierta estabilidad de la termoclina en las zonas profundas, pese al descenso climático de las temperaturas durante los meses de septiembre y octubre respecto al máximo estival. Sin embargo, el enfriamiento de las aguas superficiales unido a las perturbaciones en la circulación e interface inducidas por la mayor influencia de fuertes vientos en este período del año, favorecen los movimientos convectivos verticales de transferencia de energía calorífica, dando lugar durante el invierno a una

susceptible homogeneización térmica del agua con el consiguiente aumento relativo de la densidad en los niveles superiores (BORMANS et al, 1986).

## VI.- LA SUPERFICIE MEDIA DEL MAR

Los cambios estacionales oceanográficos en los espesores y contraste de densidades, entre las aguas superficiales y profundas, pueden originar anomalías gravimétricas en el geoide que presumiblemente se compensan con cambios del nivel del mar ajustando la superficie media a una equipotencial gravitatoria.

La determinación de la superficie topográfica del mar mediante altímetros instalados en plataforma orbitales como la SEASAT, ha permitido contrastar importantes desniveles en el geoide respecto a la media del elipsoide terrestre con valores extremos entre -105 m. localizándose en el mar al Sur de la India, y +73 m. al Norte de las costas de Australia (PUGH, 1987). Estos importantes gradientes del geoide están relacionados con anomalías gravitatorias regionales motivadas por la desigual distribución en la densidad de los materiales existentes en corteza y manto superior, unido al efecto del relieve submarino.

Por otra parte, desviaciones del orden de 10 a 25 cm. de la superficie del mar respecto el nivel medio de la superficie regional del geoide, una vez filtrados los fenómenos de más alta frecuencia, pueden corresponder con corrientes oceánicas notables presentándose inclinaciones del nivel del mar en la dirección perpendicular al movimiento de circulación (FONT, 1987).

El perceptible cambio dinámico isostático del nivel medio del mar respecto la superficie de referencia del geoide, se puede relacionar con la variabilidad en el contraste de densidades existente entre las aguas. Este fenómeno está asociado estacionalmente, en el caso del Mediterráneo Occidental, a la formación de aguas profundas durante el invierno y al desarrollo de la termoclina en primavera-verano, lo cual supone una primera aproximación a un modelo de comportamiento que justificaría los cambios estacionales observados del nivel medio del mar.

## VII.- LA FENOMENOLOGIA HOLOSTERICA EN EL MEDITERRANEO Y LOS CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR

Las variaciones de salinidad y temperatura del agua, para una determinada presión, originan susceptibles cambios en el volumen específico (masa constante), al ajustarse la superficie media del mar a una equipotencial gravitatoria.

TABATA et al, (1986) consideran que los incrementos del nivel medio del mar holostéricos  $Z_x$ , motivados por los cambios de volumen específico en un rango de presiones ( $p-p_0$ ), es aproximadamente similar a la suma de la componente termostérica  $Z_t$  y halostérica  $Z_s$ .

La formulación matemática propuesta es la siguiente:

$$Z_x = 1/g \int_{P_0}^P \left\langle \frac{\delta X}{\delta T} \right\rangle \Delta T dp + 1/g \int_{P_0}^P \left\langle \frac{\delta X}{\delta S} \right\rangle \Delta S dp$$

siendo  $\bar{T}$  y  $\bar{S}$  el nivel de referencia anual para evaluar los incrementos medios mensuales de forma que  $\Delta T = T - \bar{T}$  e  $\Delta S = S - \bar{S}$ .

Asimismo, dichos autores indican la posibilidad de trabajar directamente en el campo de densidades evaluando los incrementos del volumen específico.

$$Z_x = 1/g \int_{p_0}^p (\Delta x) dp = Z_T + Z_s$$

Uno u otro método implica un adecuado conocimiento de las características hidrológicas de forma continuada en el tiempo, extensión y profundidad. La dificultad de las campañas de investigación marinas, requiriéndose grandes medios técnicos y humanos, ocasiona la falta de datos necesarios para realizar el análisis con la fiabilidad deseable. No obstante, la consideración del contexto permite enlazar valores y determinaciones en el modelo oceanográfico existente en el mediterráneo, siendo esta integración la herramienta capaz de hacer susceptiblemente más aproximadas a la realidad las apreciaciones que a continuación se exponen.

Es conocido que normalmente en abril y mayo la entrada de aguas atlánticas en el Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar es rápida y superficial, pasando progresivamente a ser lenta y profunda a finales del otoño y disminuir drásticamente coincidiendo con el período de formación de aguas profundas durante el invierno (GARRET et al, 1990). Los mayores volúmenes en el flujo de salida Mediterráneo se originan en este último período, de gran importancia en la regulación de la tasa de renovación con tiempos actuales de residencia estimados entre 20 y 50 años para la Cuenca Occidental y Oriental respectivamente (BETHOUX et al, 1990).

La superficie de separación en profundidad entre las aguas de procedencia atlántica y las mediterráneas se considera habitualmente la isohalina del 37.5‰. Esta interface presenta una profundidad máxima en los meses de octubre-noviembre con valores que oscilan entre unos 100 m. en las áreas de la plataforma, 180-200 m. en el Estrecho (300 m. de batimetría), y presumiblemente valores mayores en las cuencas profundas (CANDELA et al, 1989; GIL FERNANDEZ, 1988).

No obstante, el cambio de estado hidráulico estacional en el Estrecho y la formación de aguas profundas durante el invierno, ocasiona importantes fluctuaciones en su nivel a lo largo del año, alcanzando la superficie ( $p=0$ ) de forma generalizada durante el invierno e inclusive desaparecer al presentar las aguas someras salinidades superiores al 37.5 por mil. Gráficos de variaciones estacionales de la interface para el sector occidental del Mar de Alboran se presentan en BORMANS et al (1986), CANDELA et al (1989) y GIL FERNANDEZ (1988).

Con objeto de tener una cierta idea de los rangos estacionales de salinidad, temperatura y densidad necesarios para el análisis, se han proyectado en la Figura 9 las tendencias T-S obtenidas con datos de distintas campañas en el sector occidental del Mar de Alborán (GIL FERNANDEZ, 1985 a-b y 1988).

En primera instancia destaca la alta variabilidad en salinidad y temperatura de las aguas superficiales con valores inferiores al 37.5‰ ( $\rho < 1.028 \text{ kg.m}^{-3}$ ), frente al pequeño rango de temperaturas (14 - 13,2° C) de las aguas profundas o de invierno. Sin embargo este pequeño gradiente térmico ocasiona un importante cambio de densidad en el agua asociado a una gran variación de la salinidad, con valores que alcanzan los  $1.029 \text{ kg/m}^{-3}$  en las zonas profundas del Mediterráneo (BETHOUX et al, 1990).

Los espesores de las aguas profundas con valores superiores a los 2.000 m., motiva la transcendencia de estos pequeños cambios térmicos al afectar a los grandes volúmenes de agua existentes en las cuencas marinas. Como dato de referencia, considerando la masa constante, un hipotético cambio en la densidad media de las aguas profundas de  $1.029 \text{ kg/m}^{-3}$  a  $1.028 \text{ kg/m}^{-3}$  ( $\Delta T \approx 1.4^\circ \text{C}$ ) ocasionaría un presumible aumento del nivel del mar próximo a los 2.5 metros, magnitud de orden coherente con las oscilaciones cuaternarias recientes en el Mediterráneo determinadas por el registro estratigráfico. Lógicamente, valores muy superiores (10-15 m.) implicarían necesariamente una aportación importante de masa al sistema por precipitación directa sobre el mar, escorrentía fluvial y/o mayor entrada de aguas atlánticas al dominio

Mediterráneo. Las condiciones ecológicas de la fauna marina cuaternaria va a permitir precisar en posteriores trabajos estas apreciaciones.

DIAGRAMAS TEMPERATURA - SALINIDAD . SECTOR OCCIDENTAL MAR DE ALBORAN  
Realizado con datos del I.E.O., publicados en GIL FERNANDEZ (1985 a-b; 1988).

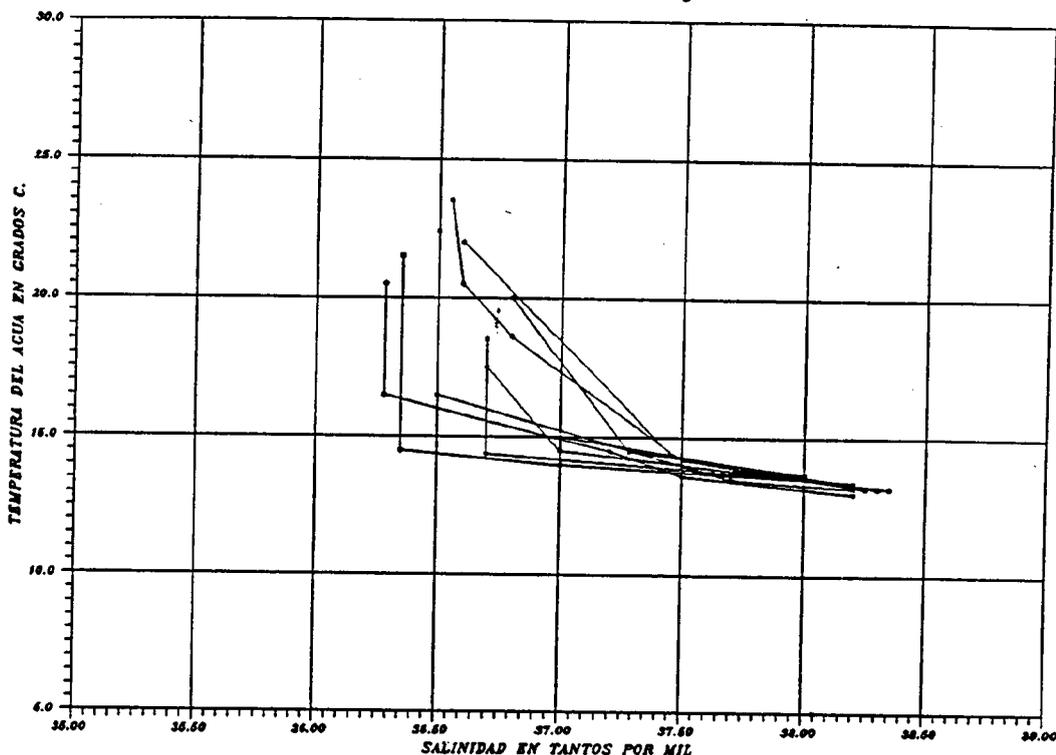


FIGURA 9

Las aguas de procedencia atlántica presentan normalmente salinidades inferiores al 36.65‰ (Figura 9), siendo el gradiente térmico el responsable de su cambio de densidad al mantenerse la salinidad con escasas variaciones a lo largo de la columna de agua. No obstante, se alcanzan las temperaturas de las aguas frías con valores muy bajos de salinidad, lo cual sugiere que la interface con las aguas profundas no corresponde con la isohalina del 37.5‰, especialmente durante el verano en las áreas con influencia de la circulación en el Estrecho.

Por otra parte, cuando las aguas atlánticas sufren procesos de mezcla con las mediterráneas, aumenta progresivamente su salinidad tomando las curvas una tendencia de mayor gradiente S-T, estando la isohalina del 37.5‰ ya más próxima a la interface con las aguas profundas. Este efecto se ve favorecido por la acción del viento como se señala en el apartado IV, destacándose su acción en el cambio de las características hidrográficas de las aguas a finales del verano y durante el otoño (JULIA, 1983; GIL FERNANDEZ, 1985 b).

Estas consideraciones ya permiten ajustar el modelo de cambio holostérico y explicar la no coincidencia del máximo térmico estival en las aguas superficiales con el máximo observado

en el nivel del mar (Octubre-Noviembre), debiéndose como factor principal, a la presencia en verano de un nivel intermedio de aguas profundas con bajas temperaturas y salinidades menores del 37.5‰.

La variación holostérica del nivel del mar entre una situación oceanográfica característica de noviembre y otra al final del invierno donde ya se ha originado el proceso de formación de aguas profundas, presenta un orden de magnitud alrededor de la veintena de centímetros, lo cual concuerda con la amplitud de los niveles estacionales registrados a lo largo de la costa española entre Alicante y Cádiz (Figuras 3 y 4).

Un cálculo estimativo se puede realizar considerando unos valores medios de salinidad y temperatura de las aguas superficiales a finales del otoño con  $T = 18^{\circ}\text{C}$  y  $S = 37.0\text{‰}$ , frente al agua de invierno con  $T = 14^{\circ}\text{C}$  y  $S = 37.70\text{‰}$ . La profundidad de la interface (37.5‰) es máxima en octubre-noviembre, tomándose un valor de 150 m. como presumible media entre las áreas de plataforma interna (60-90 m.) y las cuencas profundas centrales (120-210 m.).

Estos datos apuntan un rango de variación del nivel del mar holostérico de unos 18.60 cm. entre otoño e invierno, si bien deben de considerarse los cálculos del modelo como orientativos dada la complejidad de las interacciones existentes entre distintos factores que pueden ocasionar fluctuaciones subinerciales en la superficie del mar (ondas internas, ondas gravitacionales, cambios baroclínicos de la interface y presencia de aguas dulces en los periodos de precipitaciones).

Un mejor conocimiento de las características oceanográficas del Mediterráneo, en base a la obtención de series continuas de datos hidrográficos a distintas profundidades y los registros mareográficos, permitirá en un futuro precisar el mecanismo existente entre las importantes variaciones estacionales del nivel medio del mar y las suaves tendencias observadas a la largo de las últimas décadas.

#### **AGRADECIMENTOS**

Las investigaciones bajo la temática del cambio del nivel del mar que durante los tres últimos años vengo realizando a través del Proyecto-I+D en Geología Ambiental, se han visto estimuladas por los comentarios científicos y apoyo técnico de D. Francisco Javier Ayala-Carcedo, Director del Area de Ingeniería GeoAmbiental, siendo coartípe del desarrollo conceptual del presente trabajo.

Asimismo es necesario agradecer a Gregorio Parrilla, Luis Arevalo, Víctor Díaz del Río y Luis Somoza del Instituto Español de Oceanografía y a José Pardo de la Universidad de Valencia, la excelente colaboración y sugerencias a lo largo del complejo camino recorrido.

Finalmente, el inestimable apoyo de M<sup>a</sup> José Viñals, Miguel Simón Garrido, Conchita Fernández, Jesús Jordá, Silke Merayo y José Antonio Sánchez ha permitido precisar y complementar el estudio.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- AREVALO, L. (1988): El Mar Menor como sistema forzado por el Mediterráneo: control hidraulico y agentes fuerza. Bol. Ins. Esp. Oceanog. 5, (1, pp 63-96).
- BETHOUX, J.P.; GENTILI, B; RAUNET, J. y TAILLIEZ, D. (1990): Warming trend in the western Mediterranean deep water. Nature. Vol. 347.

- BORMANS, M; GARRETT, C. y THOMPSON, K.R. (1986): Seasonal variability of the surface inflow through the Strait of Gibraltar. Oceanol. Acta. Vol. 9, nº 4. pp. 403-414.
- CANDELA, J; WINANT, C.D. y BRYDEN, H.L. (1989): Meteorologically forced subinertial flows through the Strait of Gibraltar. J.Geophys. Res. Vol. 94, nº C9. pp. 12667-12679.
- CANDELA, J; WINANT, C. y RUIZ, A. (1990): Tides in the Strait of Gibraltar. J.Geophys. Res. Vol. 95, nº C5. pp. 7313-7335.
- CREAN, P.B; MURTY, T.S; STRONACH, J.A. (1988): Mathematical modelling of tides and estuarine circulation, the coastal seas of Southern British Columbia and Washington State. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies. Vol. 30. Springer-Verlag, R.F.A. 471 pp.
- FONT, J. (1986): Perspectivas en el uso de los sensores de microondas en estudios de circulación oceánica. En I Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección. Clotet y Sole (ed.). CSIC, Barcelona, pp. 189-190.
- GARRET, C; AKERLEY, J. y THOMPSON, K. (1989): Low-frequency fluctuations in the Strait of Gibraltar from MEDALPEX Sea Level Data. J.Phys. Oceanography. Vol. 19, pp. 1682-1696.
- GARRETT, C; THOMPSON, K. y BLANCHARD, W. (1990): Sea level flips. Nature, Vol. 348. Noviembre, pág. 292.
- GIL FERNANDEZ, J. (1985 a): Consideraciones acerca de un fenómeno de afloramiento en la zona Nor-Occidental del Mar de Alboran. Agosto 1982. Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía. nº 35. Instituto de Estudios Agrarios, Pesqueros y Alimentarios (Ed.). Madrid, 10 pp.
- GIL FERNANDEZ, J. (1985 b): La influencia del viento en las capas superficiales y su relación con los movimientos convectivos subsuperficiales. Inf. Tec. Inst. Esp. Oceanog. nº 36. 10 pp.
- GIL FERNANDEZ, J. (1988): Variación estacional del espesor de la capa de procedencia atlántica y la formación del agua de invierno, en la costa Sur-Occidental Mediterránea. Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía. nº 56. Instituto de Estudios Agrarios, Pesqueros y Alimentarios (Ed.). Madrid, 16 pp.
- GOLDSMITH, V. y GILBOA, M. (1986): Mediterranean sea level changes from tide records. XX Int. Coastal Engineering. Taiwan, pp. 223-231.
- GORNITZ, V; LEBEDEFF, S. y HANSEN, J. (1982): Global Sea Level Trend in the Past Century. Science, vol. 213, pp. 957-966.
- HANG, G.; BALLESTER, A. y KOHLER, K. (1983): Circulation on the Spanish Mediterranean Continental shelf near río Ebro. Estudio oceanográfico de la plataforma continental. Comité conjunto Hispano-Norteamericano. Cadiz. pp. 137-147.
- HANSEN, J; JOHNSON, D; LACIS, A; LEBEDEFF, S; LEE, P; RIND, D. y RUSSELL, G. (1981) Climate impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. Science. vol. 213, pp. 957-966.
- HERNANDEZ RUIZ, M. (1991): Geología aplicada a la ingeniería de áreas litorales. Apuntes del Curso Geología Aplicada a la Ingeniería y Edificación. Curso de Ingeniería GeoAmbiental (I.T.G.E.). Madrid. 66 pp. Inédito.
- HERNANDEZ RUIZ, M. y AYALA-CARCEDO, F.J. (1991): Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987). Boletín Geológico y Minero, Madrid, en prensa.

- JULIA, A. (1983): Utilización de las series temporales de temperatura y salinidad para interpretar los movimientos de las masas de agua (Zona de Amposta). Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano. Cádiz, pp. 163-171.
- KENNISH, M.J. (1989): Practical handbook of marine science. Michael J. Kennish (Ed). CRC Press. Inc. Florida, EE.UU. 710 pp.
- LOPEZ GARCIA, M.J. (1991): La temperatura superficial del mar en la cuenca balear y Golfo de Valencia a partir de imágenes NOAA. Tesis doctoral. Departamento de Geografía, Univ. de Valencia. 284 pp.
- LOPEZ JURADO, J.L. (1983): Evaporación en el Mar Balear. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano. Cádiz, pp. 197-208.
- PARDO PASCUAL, J. (1989): Oscil-lacions del nivell marí del Mediterrani Occidental a partir de les dades dels Mareògrafs. Cuadernos de Geografía, 46. Valencia, pp. 107-126.
- PERMANENT SERVICE FOR MEAN SEA LEVEL, F.A.G.S (1976): Monthly and annual mean heights of sea level. Institute of Oceanographic Sciences, Bidston Observatory, Merseyside, Gran Bretaña, 285 pp.
- PUGH, D.T. (1987): Tides, surges, and mean sea level. John Wiley & Sons Ltd. Gran Bretaña, 470 pp.
- QUEREDA SALA, J. y LOPEZ OLIVARES, D. (1988): Oscilaciones del nivel marino en Castellón. Millars 1986-87, XI. Colegio Universitario de Castellón, pp. 7-16.
- RAMIS, C. y JANSÀ, A. (1990): Situación meteorológica a escala sinóptica y a mesoescala, simultánea a la aparición de las rissagues. Jornadaes sobre les rissagues de Ciutadella i altres oscil-lacions de la mar, de gran amplitud a la Mediterrànea. Institut Menorquí d'Estudis. Menorca, pp. 27-47.
- ROLDAN FERNANDEZ, A. (1987): Notas para una climatología de Alicante. Publicación K-21, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 45 pp.
- SANJAUME SAUMELL, E. (1985): Las costas valencianas, sedimentología y morfología. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Valencia, 505 pp.
- SECCION DE OCEANOGRAFIA, I.H.M. (1988): Anuario de mareas 1989. Instituto Hidrográfico de la Marina. Servicio de Publicaciones de la Armada, Cádiz. 153 pp.
- SECCION METEOROLOGIA MARITIMA, I.N.M. (1988): Observaciones meteorológicas a borde de los buques seleccionados. Publicación C-41. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 55 pp.
- STOWE, K. (1987): Essentials of ocean science. John Wiley & Sons. EE.UU. 353 pp.
- TABATA, S; THOMAS, B y RAMSDEN (1986): Annual and interannual variability of steric sea level along line P in the Northeast Pacific Ocean. J. Phys.Oceanogr. Vol. 16, pp. 1378-1398.
- YOUNG, R.A.; SWIFT, D.J.P; NITTORVER, C.A; DEMASTER, D. y BERGENBACK, B. (1983): Even-dominated sediment transport on the valencian continental shelf, Spain, and its effect on sediment accumulation and holocen stratigraphy. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Comité Conjunto Hispano-Norteamericano. Cádiz, pp. 1-13.
- ZABALETA VIDALES, C. (1976): Atlas de climatología marina. Publicación C-45, Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 100 pp.

# Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987).

Por M. HERNANDEZ RUIZ (\*) y F. J. AYALA-CARCEDO (\*\*)

## RESUMEN

La uniformización y enlace al *datum* R.L.R. 1964 de las series de valores correspondientes al nivel medio anual del mar obtenidos a partir de las medidas reflejadas en la estación mareográfica Alicante I, ha permitido analizar la idoneidad de los datos existentes desde 1874 a la actualidad, evaluándose la incidencia de algunos factores en la fiabilidad de las medidas. Esto ha permitido centrar la investigación en el rango temporal con una calidad adecuada de la información, correspondiente al periodo posterior a la II Guerra Mundial.

La trayectoria de las fluctuaciones a partir de mediados del siglo XX del nivel medio anual del mar, marca dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con rangos de periodo decenales e interanuales. Los niveles máximos se alcanzan durante los años cincuenta y sesenta, obteniéndose una amplitud respecto a los valores más bajos a comienzos de los años ochenta de 13.60 cm. (1969-1982).

A partir de los datos publicados por otros autores referentes a las formaciones marinas cuaternarias existentes en el entorno local de Alicante, se ha reconocido la escasa repercusión en los valores de la componente neotectónica, con rangos inferiores a +0.1 mm/año.

En el contexto anual las trayectorias marcadas son asimétricas, con máximos generalmente en noviembre y mínimos en febrero-marzo. La amplitud máxima de los niveles medios mensuales para el periodo 1982-1987 supera los 25 cm., aproximadamente el doble de los niveles medios anuales, con 13.60 cm. para el intervalo temporal 1950-1984.

Finalmente, el análisis estadístico de las series hiperanuales de la temperatura media anual del aire y el nivel medio anual del mar, sugiere que la suave variación temporal de las temperaturas registradas en Alicante entre 1950 y 1984, presentan una respuesta en las tendencias del nivel medio anual del mar con un retraso en torno a tres años y un gradiente de unos 3 cm/°C para los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I y el periodo temporal considerado.

*Palabras clave:* Cambio del nivel del mar, Mediterráneo, España.

## ABSTRACT

The data of values of the average annual sea level obtained from the measurements kept in the mareograph-station Alicante-I where made uniform and joined to the datum R.L.R. 1964, has made it possible for an analysis to be made of the corresponding data that has existed from 1874 to the present, evaluating the incidence of some factors on measures fiability. This has made it possible for the investigation to be centred on the period corresponding to the post Second World War with sufficient accuracy.

The fluctuations curve of the average annual sea-level since the middle of the twentieth century shows two over-lapping frequencies with time spans of ten yearly and interannual periods. Maximum levels are reached during the nineteen fifties and sixties, showing an amplitude of 13.60 cms (1969-1982) in comparison with the lower values at the beginning of the nineteen eighties.

From the data published by other authors referring to the quaternary marine formations existing in the area of Alicante, we can recognize scarce influence on the overage annual values from the neotectonic component with a range inferior to +0.1 mm/year.

(\*) Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

In the annual context the marked curves are asymmetric with maximum values generally in November and minimum in February-March. The maximum amplitude of the curve of the mean monthly levels of the period 1982-1987 is more than 25 cms, which is approximately double the mean annual levels with 13.60 cms for the years 1950-1984.

Finally, statistic analysis of the hiperannual series of the annual mean air temperature and the annual mean sea-level suggest that the gradual variation of the temperatures registered in Alicante between 1950 and 1984 are explained in the tendencies of the mean sea level with a delay of approximately three years and a gradient of about 3 cm/°C, obtained in the mareograph-station Alicante I and the period of time in consideration.

*Key words:* Sea level change, Mediterranean, Spain.

## 1. INTRODUCCION

La evaluación de las posibles repercusiones antrópicas en los ciclos naturales de la Geosfera, y sus presumibles consecuencias ambientales, constituye una de las líneas de investigación prioritaria a nivel mundial.

El diagnóstico de las variaciones recientes del nivel medio del mar, su prospectiva, y las alternativas estratégicas para mitigar sus efectos ambientales, son algunos de los aspectos considerados con mayor interés dentro de la problemática del Cambio Global. De hecho, la realización de los análisis expuestos más adelante, fue fruto de la necesidad de conocer la variación del nivel del mar con vistas a su incidencia en la dinámica sedimentaria-erosiva del litoral, al no encontrar un estudio específico en nuestro país sobre este aspecto. Por otra parte, el conocimiento de estas variaciones del nivel del mar es necesario para el diseño y explotación de obras portuarias y costeras.

Como punto de partida para comprender el posible alcance de las alteraciones inducidas en los ciclos naturales, ante la intensificación de las actividades humanas, es necesario la adopción de un marco de referencia temporal para el análisis de la información.

Los registros mareográficos más antiguos comienzan en España a finales del siglo XIX, con las estaciones del Instituto Geográfico Nacional denominadas Alicante I, Santander I y Cádiz. Si bien, respecto a la continuidad de los registros estas dos últimas estaciones presentan importantes lagunas en las series de datos.

Por otra parte, en el ámbito internacional, el Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar (PSMSL), creado en 1933 y actualmente bajo los auspicios de la UNESCO, publica desde 1940 la información que recoge y analiza de las estaciones mareográficas a nivel mundial. A partir

de marzo de 1968 se modifica el sistema en la publicación de datos debido fundamentalmente a problemas geodésicos, introduciéndose el concepto de Referencia Local Revisada (R.L.R.).

Este «datum» para las series del nivel relativo del mar se define como un número entero en decímetros por debajo de la primera señal del mareógrafo (TGBM), indicándose el año de establecimiento. En el caso de la estación mareográfica Alicante I, el R.L.R. está implantado en el año 1965 con cota -10.400 m., referido al N.P. - 1, base principal de la red geodésica española.

La publicación, en 1976, por el PSMSL, de los volúmenes titulados «Monthly and Annual Mean Heights of Sea Level», con registros provenientes de los centros colaboradores, debidamente referenciados, clasificados y uniformizados, supuso un importante hito en los estudios de los cambios recientes del nivel medio del mar, al observarse una suave tendencia generalizada en el aumento de las medidas relativas de los niveles medios anuales.

Finalmente, las presumibles consecuencias de estas alteraciones requiere una integración multidisciplinar para la evaluación de sus efectos y el desarrollo de medidas para su mitigación.

## 2. ANALISIS DE LAS MEDIDAS MAREOGRAFICAS DEL NIVEL DEL MAR. ALICANTE I (1874-1987)

### 2.1. Consideraciones preliminares

El tratamiento de los datos mareográficos para investigaciones fenomenológicas a escala global, implica un conocimiento profundo de la contribución de distintos factores e interacciones con influencia en la estocasticidad de las medidas.

Las series de información provenientes de estaciones mareográficas costeras reflejan un registro, susceptible de ser adquirido con distintos sistemas de medida, de las *variaciones relativas* en el nivel local de la superficie del agua litoral próxima al emplazamiento de la estación.

Un aspecto fundamental inherente a la información registrada, es la *representatividad* de las medidas en estudios de tendencias en el ascenso o descenso del nivel medio del mar de los mareógrafos emplazados en bahías, deltas, estuarios, lagoones, rías..., frente a los situados en áreas de costa abierta y plataformas marinas, debido a la susceptible degradación por diferentes influencias de la señal (CREAN et al., 1988; NRC, 1987).

Otras consideraciones en este sentido son los efectos originados por la propia configuración de la estación mareográfica, rango de precisión

de los aparatos de medida, deriva instrumental, calibración, mantenimiento logístico, etc.

## 2.2. *Análisis general de los niveles medios anuales. Alicante I (1874-1987)*

Las estaciones mareográficas existentes a nivel mundial se encuentran comúnmente emplazadas en infraestructuras portuarias. Este hecho, junto con el historial de incidencias de la propia instalación, aportan interesantes aspectos de cara a la valoración de la información registrada.

La homogeneización y enlace al datum R.L.R. 1965 de las series de valores referentes al nivel medio anual del mar a partir del tratamiento de los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I (tabla I), ha permitido la representación de estas variaciones relativas desde 1874 a 1987 (fig. 1).

**TABLA I**

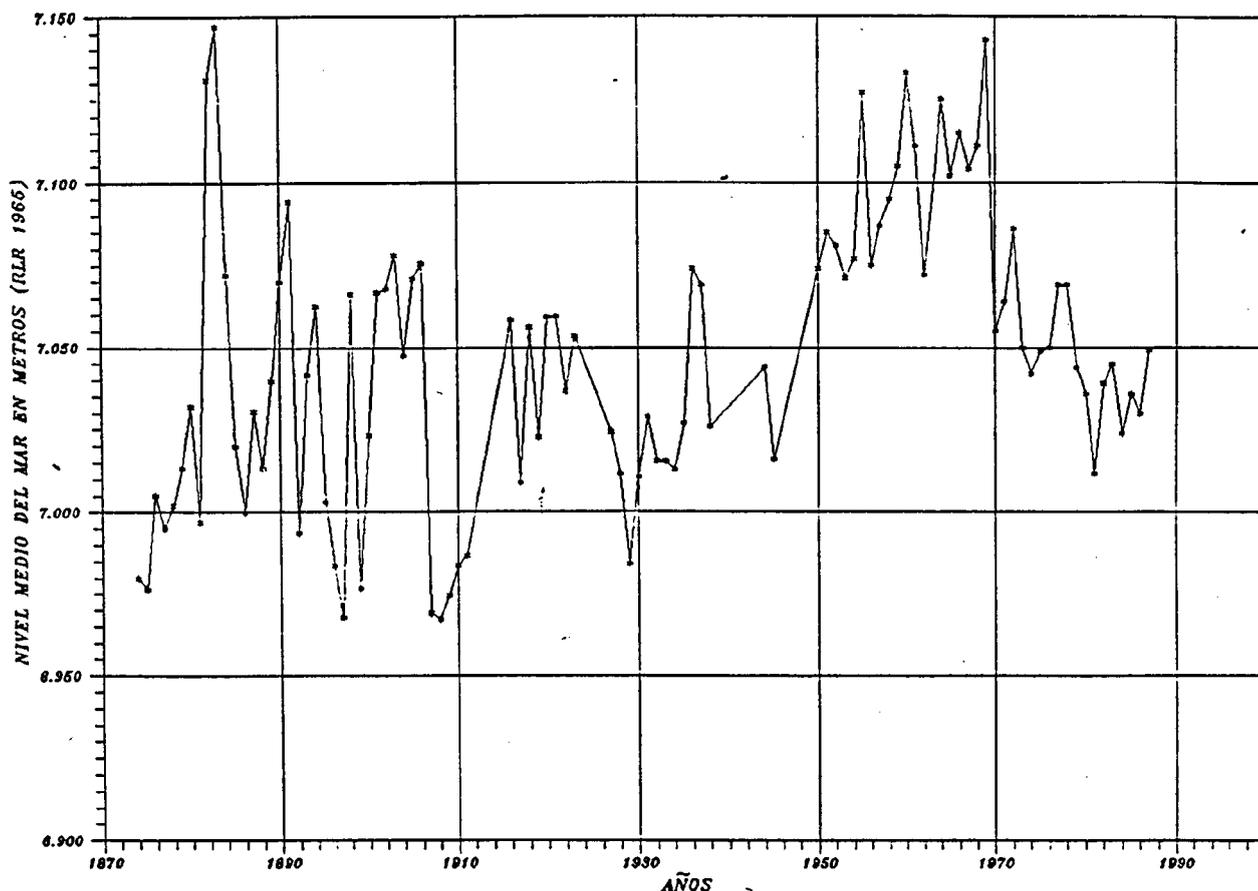
**Características de las series de valores del nivel medio anual del mar  
Estación Mareográfica Alicante I. Fuente de información: Instituto Geográfico Nacional**

Base de referencia de las medidas	Cota asignada o valor de enlace entre bases	Periodo temporal de los datos registrados	Años sin información	Años de solape con datos de otras referencias
NP. - 1	CERO	(1874-1934)	(1912-1915), (1925-1926)	NAP. H. - 270 (1927-1934)
		(1970-1978)	—	—
NAP.H. - 270	(NP. - 1) - (NAP.H. - 270) = 2.165 m.	(1927-1969)	1933, (1939-1943), (1946-1949)	NP. - 1 (1927-1934) R.L.R. 1965 (1952-1961) (1965-1969)
		(1979-1984)	1963	R.L.R. 1965 (1979-1984)
R.L.R. 1965	-10.400 m. respecto NP. - 1	(1952-1969)	(1962-1964)	NAP.H. - 270 (1952-1961) (1965-1969)
		(1979-1987)	—	NAP.H. - 270 (1979-1984)

NP: Nivelación de precisión; NAP.H.: Nivelación de alta precisión línea H.; R.L.R.: Referencia local revisada.

## MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1987)

Variaciones medidas del nivel medio del mar. Datum R.L.R. 1965  
 Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada ( $-10.400$  m. referido N.P. - 1).

Figura 1.—Trayectoria de los niveles medios anuales del mar calculados a partir de los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I. La amplitud máxima en los últimos 113 años de estas variaciones relativas es de unos 18 cm.

El tratamiento por parte de algún investigador referente a estas curvas, ha consistido en aplicar procedimientos estadísticos y matemáticos «a priori», para dar paso a razonamientos causales, sin evaluar los factores incidentes en la aleatoriedad de las medidas. La aplicación directa de coeficientes de correlación, ajustes, regresiones, etc., a los valores en bruto o filtrados, ha dado lugar a la consideración de determinados rangos de variación del nivel del mar a lo largo de los últimos cien años. Sin embargo, en algunas ocasiones las fluctuaciones originadas por los factores que afectan a la incertidumbre

experimental, y la singularidad de algunos datos anómalos o defectuosos implica la degradación por estos ruidos de la señal, hasta imposibilitar en la práctica su uso con la fiabilidad requerida.

La trayectoria de los niveles medios anuales en la estación Alicante I presenta unas fluctuaciones interanuales y decenales con valores máximos de 7.147 m. en 1883 y 7.143 m. en 1969. Por otra parte, los niveles mínimos corresponden a los años 1897 y 1908, con valores inferiores a 6.968 m. Estos datos indican que la *presumible amplitud máxima del nivel medio anual del mar*

en los últimos 113 años es de unos 18 cm. para esta estación mediterránea.

Previamente al tratamiento estadístico de los datos, se ha procedido a una depuración minuciosa de los mismos, con objeto de llegar a resultados fiables.

Algunas acciones y factores importantes en la estocasticidad de los valores son los cambios en el sistema de medida, variaciones en el emplazamiento, acciones constructivas, ingerencia antrópica en los procesos naturales, etc.

En la figura 2 se exponen, conforme al rango

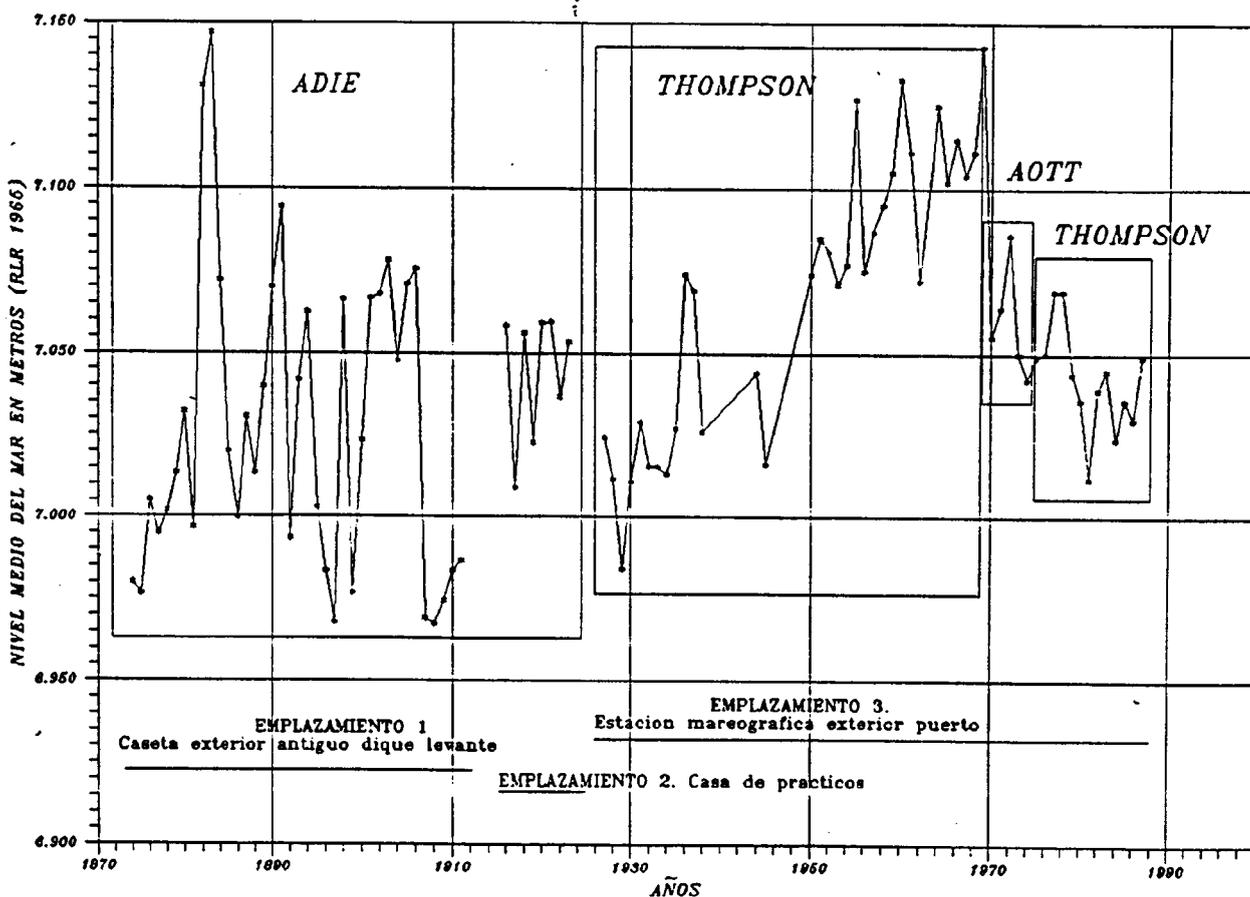
temporal de actuación, los distintos sistemas mareográficos de medida y los emplazamientos de la estación dentro de la infraestructura del Puerto de Alicante. Los aspectos más destacables son:

#### — Sistema Mareográfico

Existe una alta variabilidad de los datos adquiridos con el sistema ADIE, reflejando la documentación histórica existente en el IGN los siguientes aspectos (MAS, 1971):

#### MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1987)

Emplazamientos de la estación — Sistemas mareográficos de medida  
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada (—10.400 m. referido N.P. - 1).

Figura 2.—Análisis de algunos factores intrínsecos a la estación mareográfica Alicante I con influencia en la estocasticidad de las medidas. Se observa una gran amplitud en las fluctuaciones interanuales de los niveles medios referentes al sistema ADIE y un claro salto en la serie coincidente con el cambio al emplazamiento de la casa de prácticos.

- «De 1874 a 1911 funcionó un aparato ADIE (con poca utilidad en sus datos) y con algunas interrupciones.»
- «En la Casa de Prácticos siguió funcionando el aparato ADIE, pero muy mal, por múltiples averías, casi todas causadas por una mala comunicación con el mar.»

#### — Emplazamiento

Es un factor transcendental que engloba un marco amplio de procesos e interacciones con influencia en las medidas registradas. Los datos

adquiridos entre 1916 y 1923 en la Casa de Prácticos presentan un claro salto respecto a las series de valores en los emplazamientos contiguos. Este hecho puede estar preferentemente motivado por «una mala comunicación con el mar (MAS, 1971), problemas de referenciación o presumible incidencia del cambio en las condiciones hidrodinámicas.

Desde otro punto de vista, el *carácter dinámico de los puertos*, con continuas actividades y obras de ampliación, mejora, etc., presenta una acentuada influencia en las fluctuaciones de los valores para los niveles medios anuales del mar (fig. 3).

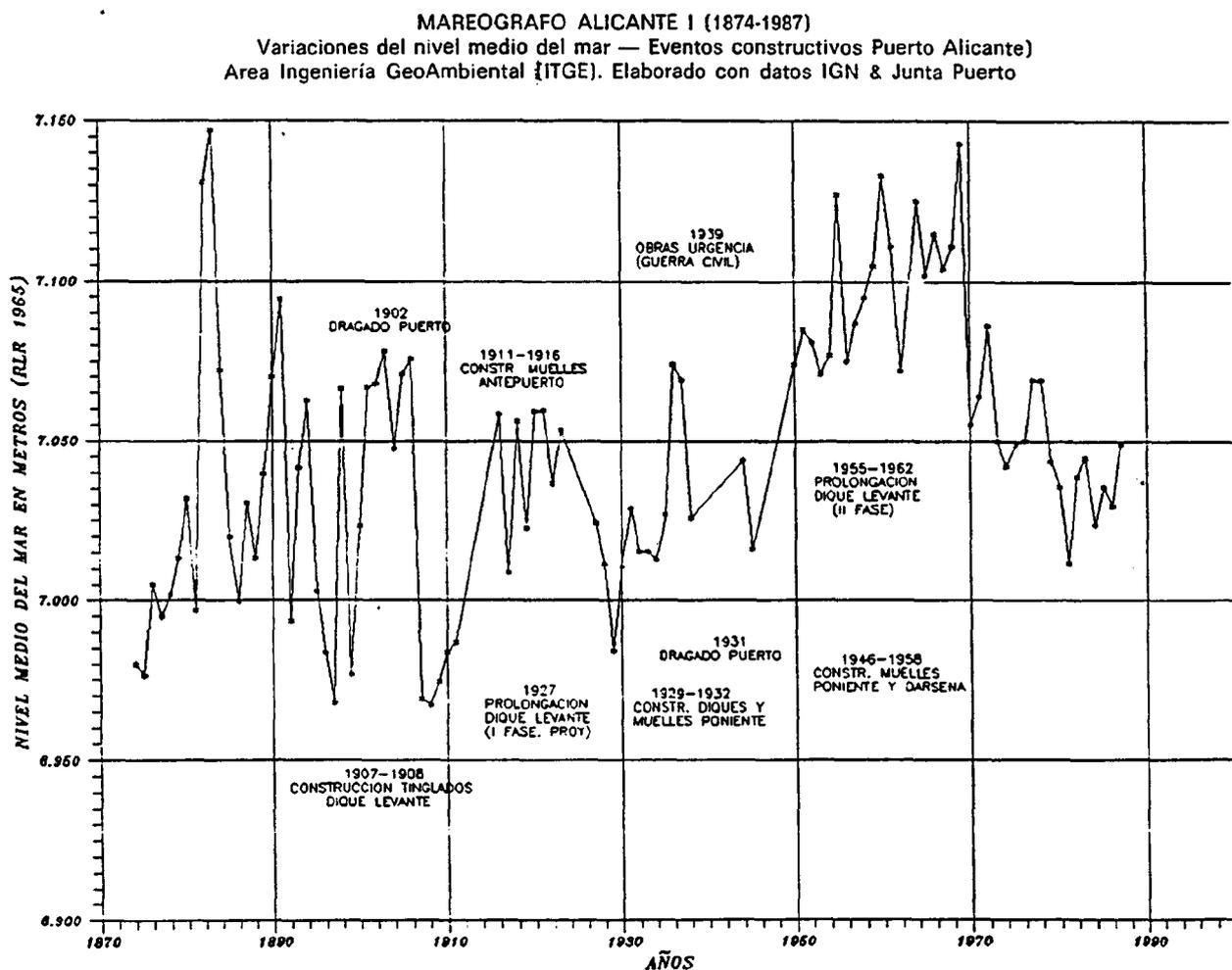


Figura 3.—Las distintas actividades constructivas realizadas en el entorno de la estación mareográfica Alicante I pueden ocasionar algunas fluctuaciones en los datos.

En este caso se observa que, después de la construcción de los tinglados en 1907-1908, se origina un ascenso relativo del nivel medio del mar de 1.95 cm. en los tres años siguientes, presumiblemente motivado por el asentamiento del dique ante las cargas transmitidas al terreno. Por otra parte, el adoquinado del muelle de Levante en 1907 coincide con un descenso relativo del nivel medio del mar de 10.65 cm., quizá asociado a problemas de referenciación.

La excelente organización y conservación del archivo histórico perteneciente a la Junta del Puerto de Alicante, ha permitido detallar el alcance de los proyectos realizados a partir del año 1900. Estos datos evidencian una intensa actividad constructiva en el entorno próximo al emplazamiento del mareógrafo hasta finales de los años cuarenta. Por otra parte, las características constructivas del dique en el cual se sitúa la estación y las propiedades geotécnicas del terreno sobre el que se transmiten las cargas, justifica la incidencia de continuas obras de pavimentación, nivelación y mejora del firme: 1907, 1915, 1916, 1918, 1921, 1926, 1931 y 1939.

Finalmente, una perspectiva general de la curva obtenida en la estación mareográfica de Alicante marca tanto con procedimientos matemático-estadísticos como de forma intuitiva visual dos poblaciones. La población anterior a los años cincuenta presenta una variabilidad alta y lapsos informativos importantes, consecuencia de la problemática anteriormente expuesta. Sin embargo, los datos existentes a partir de la mitad de este siglo presentan una incertidumbre menor, considerándose de mejor calidad para posteriores análisis de la información. Por consiguiente, más del 50 por 100 del periodo temporal con registro inicialmente examinado no es presumiblemente útil dado su rango residual de incertidumbre, para estudios sobre la evolución del nivel medio anual del mar, por lo que los análisis siguientes se centrarán en el período 1950-1984.

### 3. CONSIDERACIONES SOBRE LAS VARIACIONES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR. ESTACION MAREOGRAFICA ALICANTE I (1950-1984)

Los factores naturales más trascendentes y

significativos que inciden en las variaciones actuales del nivel medio del mar, van a venir determinados fundamentalmente por su alcance temporal, y las repercusiones originadas por la magnitud de sus fenómenos asociados.

Los datos existentes muestran, a partir de los años cincuenta, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, una influencia significativamente menor, de los ruidos «técnicos» fuera del contexto natural de los procesos: modificaciones en los sistemas de medida, cambios en los emplazamientos, actuaciones constructivas, movimientos relativos en el cuerpo del dique, consolidación del sustrato ante las cargas transmitidas, etc. Por otra parte, dentro de este período temporal se han considerado satisfactorios los distintos procedimientos empleados para la determinación de los valores mensuales y anuales del nivel medio, a partir de los registros. Sin embargo, los datos originales referidos al R.L.R. 1965 (véase tabla I), se encuentran procesados corrigiendo los defectos en cuanto al número de días de observación en cada mes.

Desde el punto de vista de la homogeneidad en la información y la obtención de una mayor continuidad temporal en las observaciones tratadas con los mismos criterios, se han considerado únicamente en este caso los datos enlazados al *datum* correspondientes a las series originales con referencia N.P. - 1 y NAPH - 270 del IGN.

La trayectoria de las fluctuaciones *entre 1950 y 1984* del nivel medio anual del mar en Alicante, marcan dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con una *amplitud total máxima de 13.60 cm.* (1969/1982). El carácter hiperanual con rango decenal correspondiente a la frecuencia de mayor ámbito, presenta los niveles máximos durante los años cincuenta y sesenta, alcanzándose el mínimo a comienzos de los años ochenta. El intervalo temporal considerado no refleja un período completo, estimándose el rango del semiperíodo entre 11 y 19 años, con una amplitud aproximada de 9 cm. Por otra parte, las frecuencias más altas presentan un rango temporal de sus períodos entre 3 y 9 años, y amplitudes que alcanzan los 6 cm.

La incidencia de la *componente neotectónica* en la curva de variación se ha evaluado a partir de las dataciones absolutas de los niveles marinos cuaternarios existentes y su altitud, en el

MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1984)  
 Variaciones del nivel medio del mar. Aplicación filtro paso bajo (1950-1984)  
 Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN

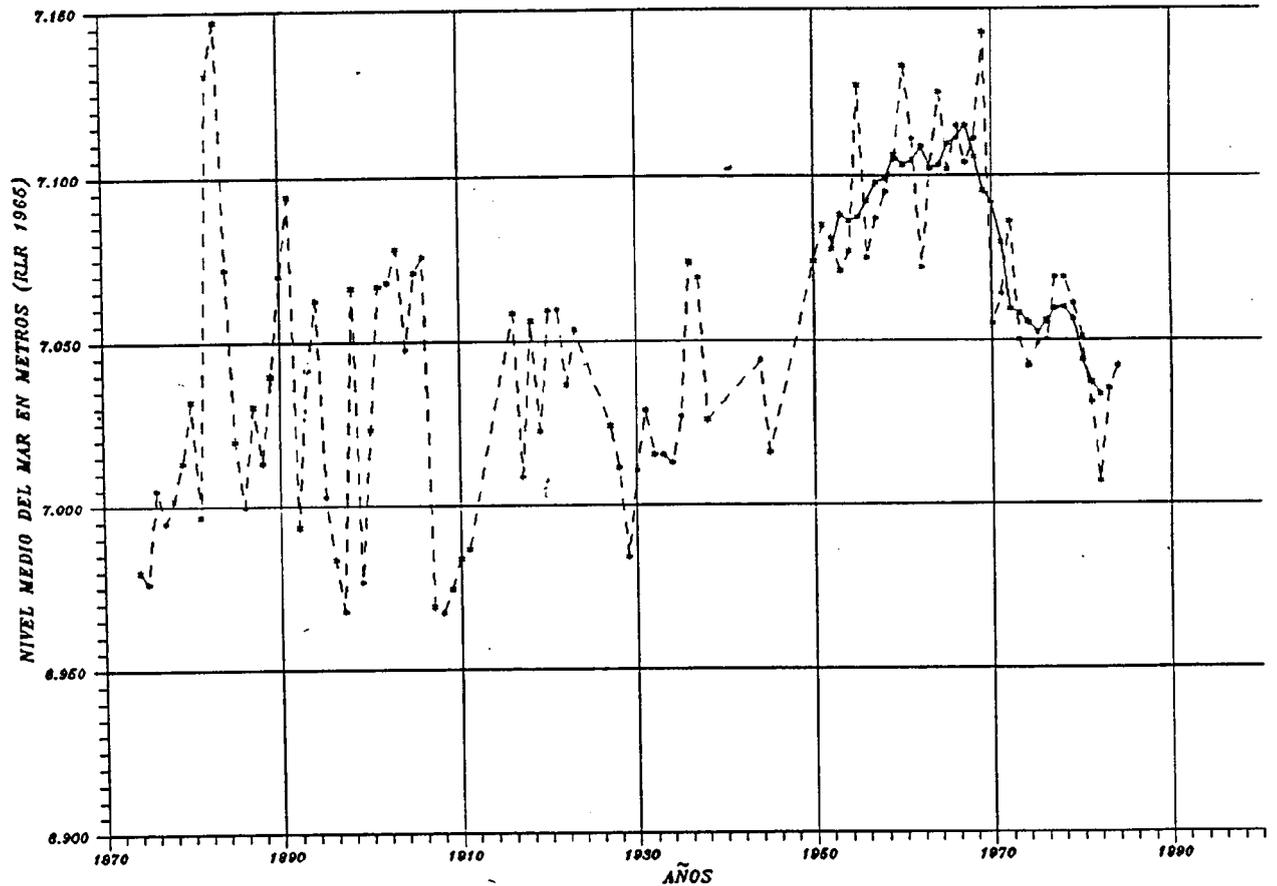


Figura 4.—Las variaciones del nivel medio anual del mar a partir de 1950 indican un importante descenso durante la década de los años setenta.

entorno local a la ciudad de Alicante (FLORES et al., 1987; HEARTY et al., 1987; SOMOZA et al., 1987; SOMOZA, 1989; ZAZO et al., 1987). La componente neotectónica considerada es de levantamiento cortical con un coeficiente que en ningún caso supera  $+0.1$  mm/año, siendo despreciable este rango en la escala temporal de trabajo dada la magnitud centimétrica de las amplitudes reflejadas en los valores del nivel medio anual del mar.

El análisis preliminar de otros factores con posibles repercusiones como la eustasia geoidal, eustasia glacial o algunos aspectos específicos tectono-eustáticos, refleja la escasa magnitud de estos fenómenos en el caso estudiado, con efec-

tos más significativos a largo plazo (BERRYMAN, 1987; CHAPPELL, 1987; DEVOY, 1987; MORNER, 1987 a y b; PELTIER, 1987; ZAZO et al., 1988).

#### 4. LA EVOLUCION ANUEL E HIPERANUAL DEL NIVEL MEDIO RELATIVO DEL MAR

La presencia de fluctuaciones hiperanuales e interanuales del nivel medio del mar son «sensu estricto» consecuencia del efecto sinérgico de un conjunto de factores eustáticos que interactúan directa o indirectamente con los grandes ciclos de la Geosfera.

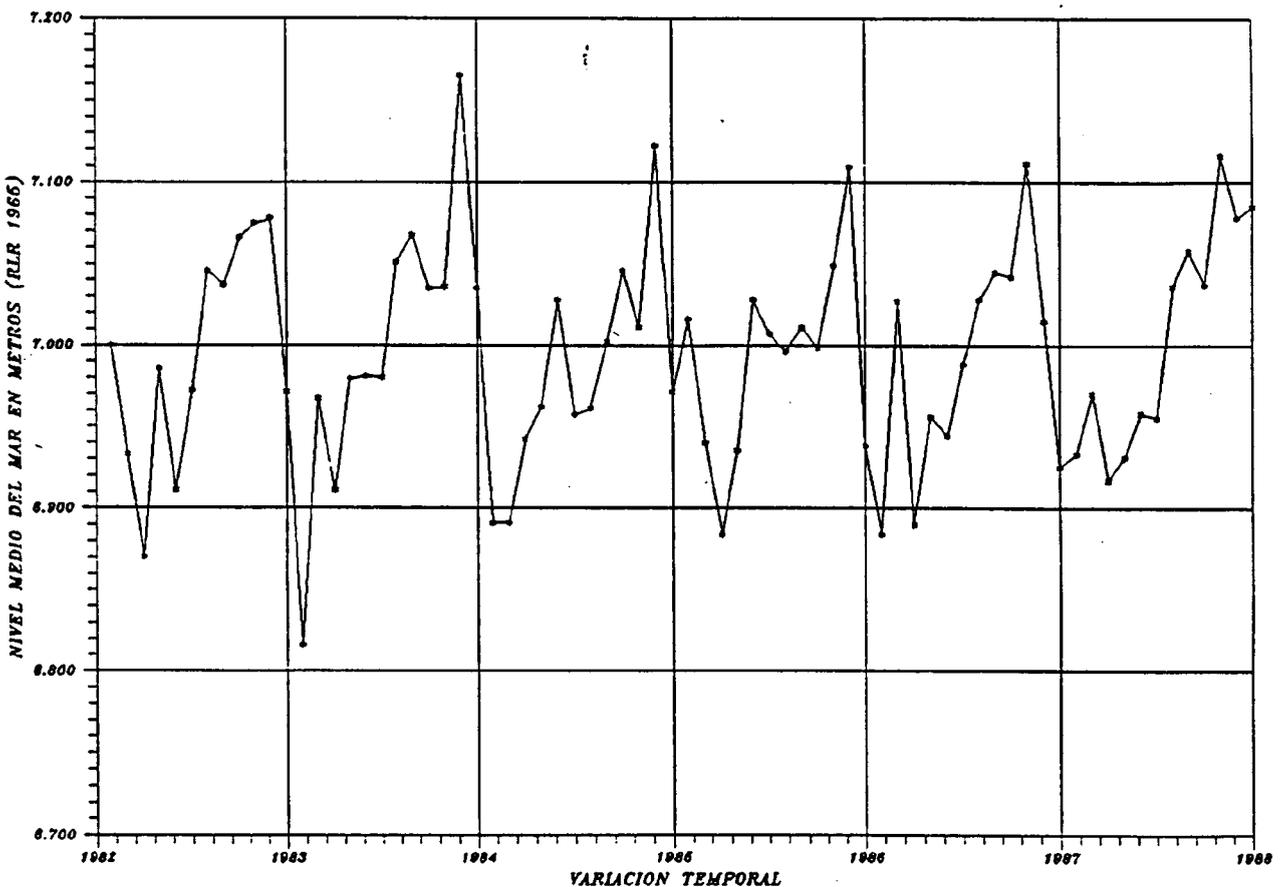
Con objeto de determinar los elementos signi-

ficativos que intervienen en el balance eustático, se ha trabajado en primera instancia con la variación anual de los niveles medios mensuales. El marco de referencia temporal adoptado corresponde a la serie de alta calidad uniformizada y corregida por el Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar que va desde 1982 a 1987 (fig. 5).

En este *contexto anual*, las trayectorias marcadas son asimétricas, con máximos generalmente

en noviembre y mínimos en febrero-marzo. Estos datos reflejan que *en el transcurso del invierno se originan descensos de los niveles medios mensuales del mar que superan los 25 cm., casi el doble de la amplitud máxima del nivel medio anual, de 13.60 cm. en el periodo 1950-1984.* El análisis comparativo con las fluctuaciones observadas en otras estaciones indica tendencias similares anuales dentro del contexto del Mediterráneo Occidental (PSMSL, 1976; SANJAUME, 1985; GOLDSMITH, 1986).

MAREOGRAFO ALICANTE I (1982-1987)  
Variaciones mensuales del nivel medio del mar. Datum R.L.R. 1965  
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada (—10.400 m. referido N.P. - 1).

Figura 5.—Trayectorias anuales de los niveles medios mensuales del mar. Obsérvese su marcada periodicidad y los drásticos descensos que se originan sistemáticamente durante el invierno, con diferencias mensuales en los valores que alcanzan los 17 cm. (noviembre-diciembre 1985).

Estos aspectos han permitido desarrollar una investigación en detalle sobre sus relaciones causales (HERNANDEZ RUIZ, 1991). Las implicaciones fenomenológicas significativas en este ámbito apuntan a factores climáticos (temperatura y presión atmosférica), y fenómenos holostéricos ligados principalmente al singular funcionamiento del estrecho de Gibraltar.

Por otra parte, a nivel hiperanual, existe una alta relación puesta de manifiesto por algunos autores (AYALA-CARCEDO, 1990; BRYANT, 1988; CRPHI., 1979; FAIRBRIDGE et al., 1990; GORNITZ et al., 1982; HANSEN et al., 1981; JELGERSMA, 1990; KONDRATYEV, 1988; PARDO PASQUAL, 1989; PIRAZZOLI, 1990; PITTOCK, 1988; TITUS, 1987; THOM et al., 1988), entre las varia-

ciones anuales de la temperatura media del aire y el nivel medio anual del mar (véase figs. 4 y 6).

La estudentización y correlación de ambas curvas implica en principio un coeficiente de correlación lineal de 0.41, influenciado por las altas frecuencias de variabilidad anual e interanual. Por otra parte, la aplicación de un filtro de paso bajo que destaque la curva hiperanual de baja frecuencia indica un coeficiente de correlación de 0.85 para desfases temporales de dos y tres años, lo cual sugiere una relación fenomenológica causal, en el sentido de que la suave variación de las temperaturas medias anuales del aire haya influido en la variación del nivel medio del mar.

#### VARIACION ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE EN ALICANTE (1874-1987)

Aplicación filtro paso bajo (1950-1984)

Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos del INM

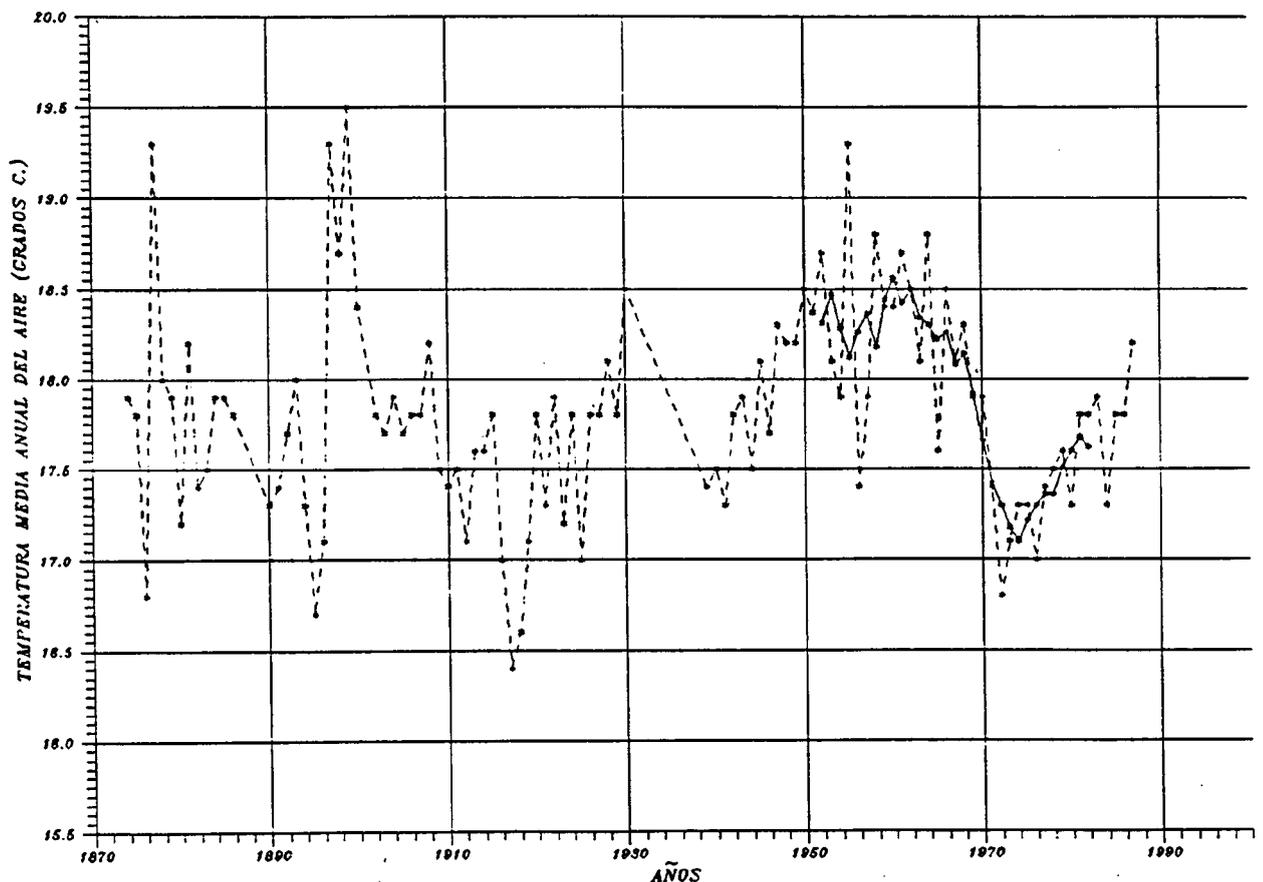


Figura 6.—Las tendencias a partir de los años cincuenta en la temperatura del aire presentan una gran similitud con las observadas en los niveles medios anuales del mar, si bien con un cierto desfase temporal evaluado en unos tres años.

ALICANTE I (1950-1984)  
Temperatura — Nivel medio del mar

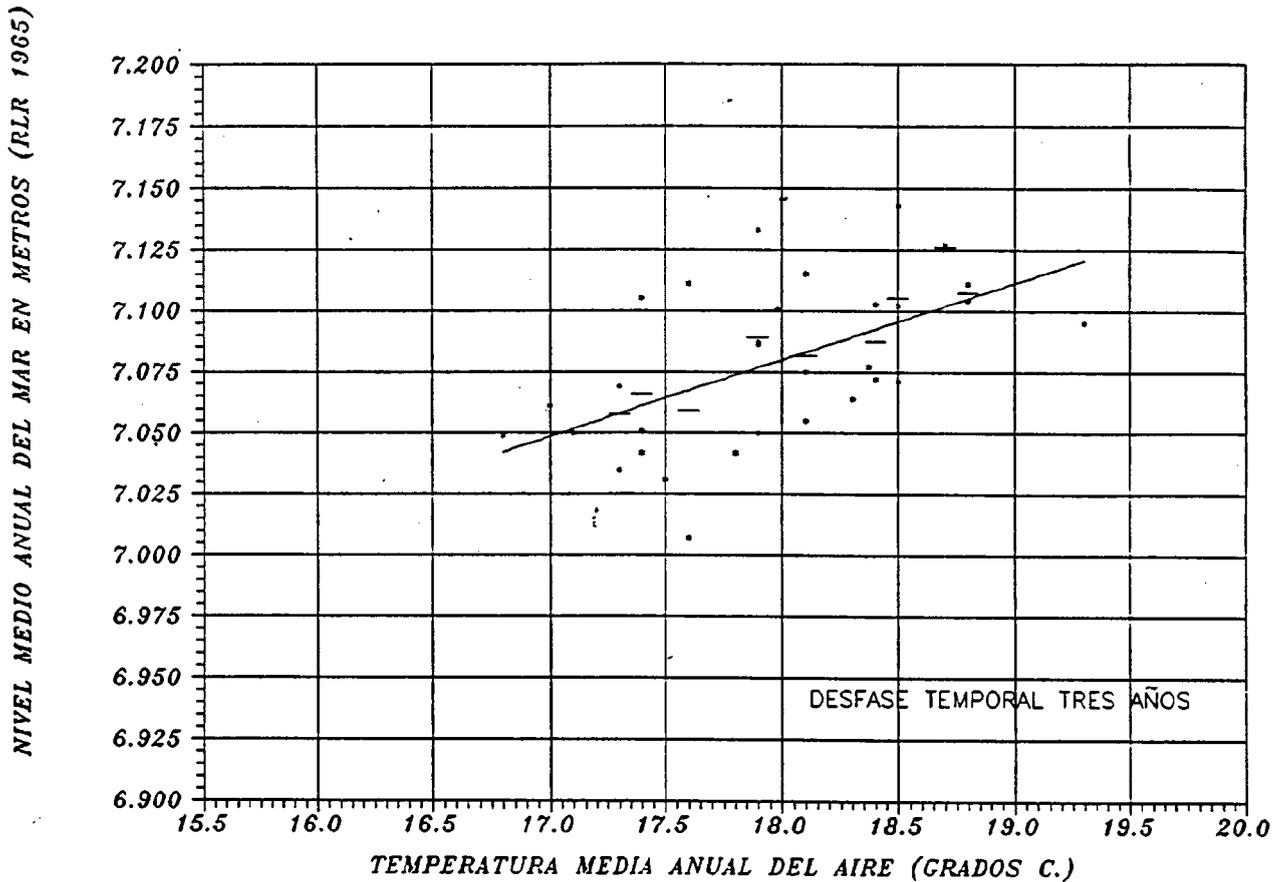


Figura 7.—Relación entre los valores de los niveles medios anuales del mar y la temperatura media anual del aire, para un desfase temporal de tres años. Los valores están sin filtrar (1950-1984).

Finalmente, el análisis con distintas herramientas estadísticas sobre los datos indican que el *desfase temporal* más ajustado entre la temperatura media anual del aire y el nivel medio anual del mar en el ámbito hiperanual del caso estudiado se encuentra en torno a los tres años, con un *gradiente* para el período temporal considerado en torno a  $3 \text{ cm}/^\circ \text{C}$  (véase fig. 7).

Las presumibles implicaciones causales de esta dinámica hiperanual en el contexto de la estación mareográfica Alicante I incide en un primer momento en la tendencia climática de la temperatura del aire, sugiriendo que en su interacción con los fenómenos oceanográficos de ca-

rácter térmico (expansión-contracción térmica) origina en este ámbito litoral, con un retraso en torno a tres años, cambios en el nivel medio anual del mar de unos  $3 \text{ cm}/^\circ \text{C}$  para la *variación temporal de las temperaturas registradas entre 1950-1984, de carácter oscilante (estabilidad - bajada - subida)*.

## 5. CONCLUSIONES

La uniformización y enlace al datum R.L.R. 1965 de las series de valores referentes al nivel medio anual del mar, a partir de los registros obte-

nidos en la estación mareográfica Alicante I, ha permitido la representación de estas variaciones relativas con un período temporal que comprende desde 1874 a 1987.

El análisis de algunos aspectos intrínsecos y extrínsecos al sistema con influencia en la estocasticidad de las medidas, implica rangos significativos de incertidumbre en los valores anteriores a 1950.

La trayectoria de las fluctuaciones del nivel medio anual del mar, a partir de mediados de este siglo, marca dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con una amplitud total máxima de 13.60 cm. (1969/1982). En el ámbito hiperanual el rango del semiperíodo es decenal, con una amplitud aproximada de 9 cm., alcanzándose los niveles máximos durante los años cincuenta y sesenta dentro del intervalo temporal considerado (1950-1984). Las frecuencias más altas presentan un rango interanual de sus períodos entre tres y nueve años, con amplitudes que alcanzan los 6 cm.

La componente neotectónica para el entorno del Puerto de Alicante se ha evaluado a partir de las dataciones absolutas publicadas por otros autores de las formaciones marinas cuaternarias existentes y su altitud. La información analizada apunta un *ratio* que no supera el valor de +0.1 mm/año, siendo despreciable este rango en la escala temporal de trabajo, dada la magnitud centimétrica de las amplitudes reflejadas en los valores del nivel medio anual del mar.

El análisis preliminar de otros factores con posibles repercusiones como la eustasia geoidal, eustasia glacial o algunos aspectos específicos tectono-eustáticos, indica la escasa magnitud de estos fenómenos en el caso estudiado con efectos más significativos a largo plazo.

En el contexto anual, las trayectorias marcadas por los niveles medios mensuales son asimétricas, con máximos generalmente en noviembre y mínimos en febrero-marzo. Los valores de amplitud superan los 25 cm., durante el período considerado, casi el doble que en la serie hiperanual (1950-1984).

El tratamiento estadístico de las variaciones anuales de la temperatura media del aire y el nivel medio anual del mar sugiere la existencia de una relación fenomenológica con un cierto desfase temporal.

Las presumibles implicaciones causales inciden en un primer momento en la tendencia climática de la temperatura del aire, sugiriendo que en su interacción con los fenómenos oceanográficos de carácter térmico (expansión - contracción térmica) origina en este ámbito litoral, con un retraso en torno a tres años, cambios en el nivel medio anual del mar, con un gradiente de unos 3 cm/°C para la variación temporal de las temperaturas registradas entre 1950 y 1984 en Alicante.

Serán necesarios análisis específicos, apoyados en una red de medida y registro de temperaturas y salinidad del agua a varias profundidades, para valorar con fines predictivos el efecto sobre el nivel medio anual del mar de otras hipótesis temporales de variación de la temperatura del aire.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su especial agradecimiento a D. José María Catalán Alonso, Doctor Ingeniero de Minas, por su valiosa ayuda en el tratamiento y análisis estadístico de los datos, y a D. Miguel Simón Garrido Ruiz, Geólogo e Ingeniero Técnico de Obras Públicas, por su aportación en problemas específicos.

Asimismo, es importante resaltar la colaboración de D. Antonio Barbadillo, Ingeniero Geógrafo Jefe del Servicio de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional, y de D. Enrique Jiménez, Ingeniero Técnico en Topografía, encargado de los registros mareográficos que amablemente facilitaron los datos base del presente trabajo y atendieron personalmente las dudas surgidas en su uniformización.

Por otra parte, es necesario agradecer a D. Carlos Torres, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director del Puerto de Alicante, la excelente disposición prestada para la consulta del archivo histórico perteneciente a la Junta.

Finalmente, destacar la colaboración de María Lions y Silke Merayo en la revisión del texto en inglés.

El presente trabajo se integra en el Proyecto I+D en Geología Ambiental desarrollado en el Área de Ingeniería GeoAmbiental del Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

## REFERENCIAS

- AYALA-CARCEDO, F. J. (1990): *Extraterrestrial Impacts, Volcanoes, Climate and Sea Level*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought* NATO ASI Serie C: *Mathematical and Physical Sciences*, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 199-216.
- BERRYMAN, K. (1987): *Tectonic Processes and their Impact on the Recording of Relative Sea-Level Changes*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 127-161.
- BRYANT, E. (1988): *Sea-Level Variability and its Impact within the Greenhouse Scenario*. En: *Greenhouse: Planning for Climate Change*. PEARMAN, G. I. (Ed.). CSIRO. Melbourne, Australia, pp. 135-146.
- CHAPPELL, J. (1987): *Ocean Volume Change and the History of Sea Water*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 33-56.
- COMITE RUSO DEL PROGRAMA HIDROLOGICO INTERNACIONAL (1979): *Balance Hidrico Mundial y Recursos Hidráulicos de la Tierra*. Instituto de Hidrología de la UNESCO, Comité Español para el Programa Hidrológico Internacional (Ed.), Madrid, 890 pp.
- CREAN, P. B.; MURTY, T. S., y STRONACH, J. A. (1988): *Mathematical Modelling of Tides and Estuarine Circulation, the Coastal Seas of Southern British Columbia and Washington State*. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, vol. 30. Springer-Verlag, R. F. A., 471 pp.
- DEVOY, R. J. N. (1987): *First Principles and the Scope of Sea-Surface Studies in Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 1-30.
- FAIRBRIDGE, R. W., y JELGERSMA, S. (1990): *Sea Level, Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series. Serie C: *Mathematical and Physical Sciences*, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 117-143.
- FLORES, J. A.; CIVIS, J.; GONZALEZ DELGADO, J. A., y PORTA, J. (1987): *Paleontology and Taphonomy of the Tyrrhenian in the Neighbourhood of Alicante*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC, Madrid, pp. 109-139.
- GOLDSMITH, V., y GILBOA, M. (1986): *Mediterranean Sea Level Changes from Tidal Records*. XX Int. Coastal Engineering. Taiwan, pp. 223-231.
- GORNITZ, V.; LEBEDEFF, S., y HANSEN, J. (1982): *Global Sea Level Trend in the Past Century*. Science, vol. 215, pp. 1611-1614.
- HANSEN, J.; JOHNSON, D.; LACIS, A.; LEBEDEFF, S.; LEE, P.; RIND, D., y RUSSELL, G. (1981): *Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*. Science, vol. 213, pp. 957-966.
- HEARTY, P. J.; HOLLIN, J. T., y DUMAS, B. (1987): *Geochronology of Pleistocene Littoral Deposits on the Alicante and Almeria Coast of Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC, Madrid, pp. 95-107.
- HERNANDEZ RUIZ, M. (1991): *Consideraciones sobre la Evolución Anual del Nivel Medio Relativo del Mar. Estación Mareográfica Alicante I (1982-1987)*. VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario. Valencia (en prensa).
- JELGERSMA, S. (1990): *Atmospheric, Oceanic and Climatic Response to Greenhouse and Feedback Effect*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series, Serie C: *Mathematical and Physical Sciences*, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 75-84.
- KONDRATYEV (1988): *Climate Shocks: Natural and Anthropogenic*. Wiley series in climate and the biosphere. John Wiley & Sons, U. S. A., 296 pp.
- MAS, S. (1971): *Resumen histórico sobre los observatorios mareográficos del I. G. N. desde la iniciación del funcionamiento de los mismos hasta el momento actual*. Subdirección General de Geodesia y Geofísica. I. G. N., Madrid. Informe inédito.
- MÖRNER, N. (1987a): *Pre-Quaternary Long-Term Changes in Sea Level*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 233-241.
- MÖRNER, N. (1987b): *Quaternary Sea-Level Changes: Northern Hemisphere Data*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 242-263.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.). COMMITTEE ON ENGINEERING IMPLICATIONS OF CHANGE IN RELATIVE MEAN SEA LEVEL (1987): *Responding to Changes in Sea Level, Engineering Implications*. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A., 148 pp.
- PARDO PASCUAL, J. (1989): *Oscil·lacions del Nivell Marí del Mediterrani Occidental a partir de les Dades dels Mareògrafs*. Cuad. de Geogr., 46, pp. 107-126.
- PELTIER, W. R. (1987): *Mechanisms of Relative Sea-level Change and the Geophysical Responses to Ice-water Loading*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 57-94.
- PERMANENT SERVICE FOR MEAN SEA LEVEL, F. A. G. S. (1976): *Monthly and Annual Mean Heights of Sea Level*. Institute of Oceanographic Sciences, Bidston Observatory, Merseyside, Gran Bretaña, 285 pp.
- PIRAZZOLI, P. A. (1990): *Present and Near-Future Sea-level Changes: an Assessment*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series. Serie C: *Mathematical and Physical Sciences*, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 153-163.
- PITTOCK, A. B. (1988): *The Greenhouse Effect and Future Climatic Change*. En: *Recent Climatic Change*. STANLEY GREGORY (Ed.). Pinter Publishers, Londres, pp. 306-315.
- SANJAUME, E. (1985): *Las Costas Valencianas. Sedimentología y Morfología*. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Valencia, 505 pp.

SOMOZA LOSADA, L. (1989): *Estudio del Cuaternario Litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante). Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto Geodinámico*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 352 pp.

SOMOZA, L.; ZAZO, C.; BARDAJI, T.; GOY, J. L., y DABRIO, C. J. (1987): *Recent Quaternary Sea Level Changes and Tectonic Movements in SE Spanish Coast*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC. Madrid, pp. 49-77.

THOM, B. G.; ROY, P. S. (1988): *Sea-Level Rise and Climate: Lessons from the Holocene*. En: *Greenhouse: Planning for Climate Change*. PEARMAN, G. I. (Ed.). CSIRO. Melbourne, Australia, pp. 177-188.

TITUS, J. G. (1987): *The Greenhouse Effect, Rising Sea Level and Society's Response*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 499-528.

ZAZO, C.; DABRIO, C. J., y GOY, J. L. (1988): *Geomorfología Litoral y Significación de las Variaciones del Nivel del Mar*. Monografía SEG, núm. 2, pp. 171-188.

ZAZO, C.; GOY, J. L.; SOMOZA, L.; BARDAJI, T., y DABRIO, C. J. (1987): *Recent Quaternary Marine Levels in Peninsular Spain, State of Knowledge and discussion*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.). CSIC. Madrid, pp. 7-31.

Original recibido: Septiembre de 1991.

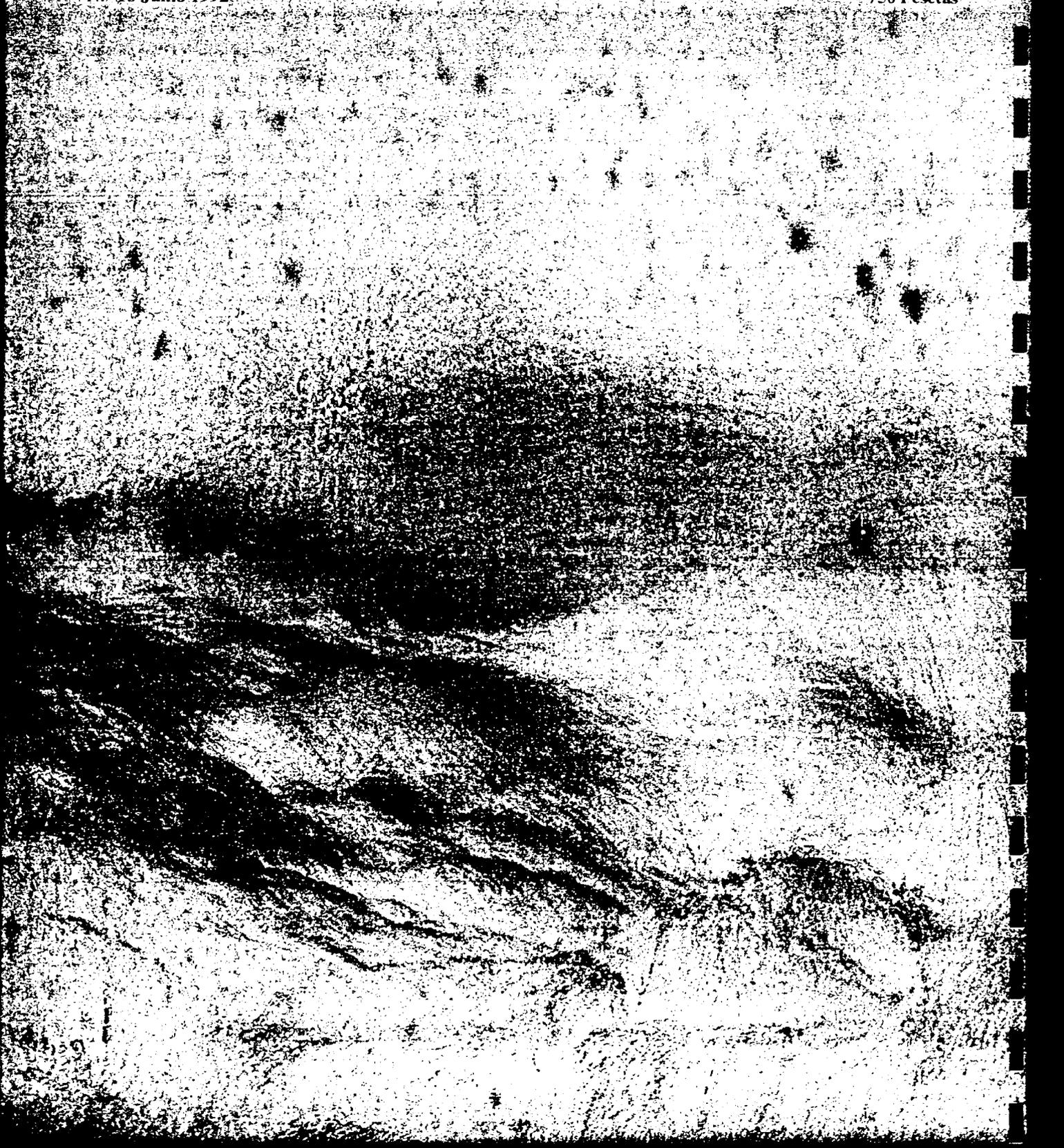
Original aceptado: Octubre de 1991.

# tecno ambiente

REVISTA PROFESIONAL DE TECNOLOGIA Y EQUIPAMIENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL

N.º 18 Junio 1992

750 Pesetas



# Cambios en el nivel medio del mar en la costa mediterránea española y posibles efectos sobre la dinámica costera



*Los sorprendentes efectos en la costa que en los últimos años tienen los temporales, comienzan a repercutir en el turismo.*

## Consideraciones preliminares

La evaluación, a partir de los registros mareográficos, del presumible ascenso generalizado en el nivel medio del mar, estimado en unos 12 cm desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, y su posible relación con el aumento global de la temperatura del aire, ha permitido elaborar distintas hipótesis predictivas de cambio en el nivel medio marino para el siglo XXI, ligadas a la intensificación de actividades antrópicas con influencia en el cambio climático, como son las emisiones a la atmósfera de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$  y otros gases.

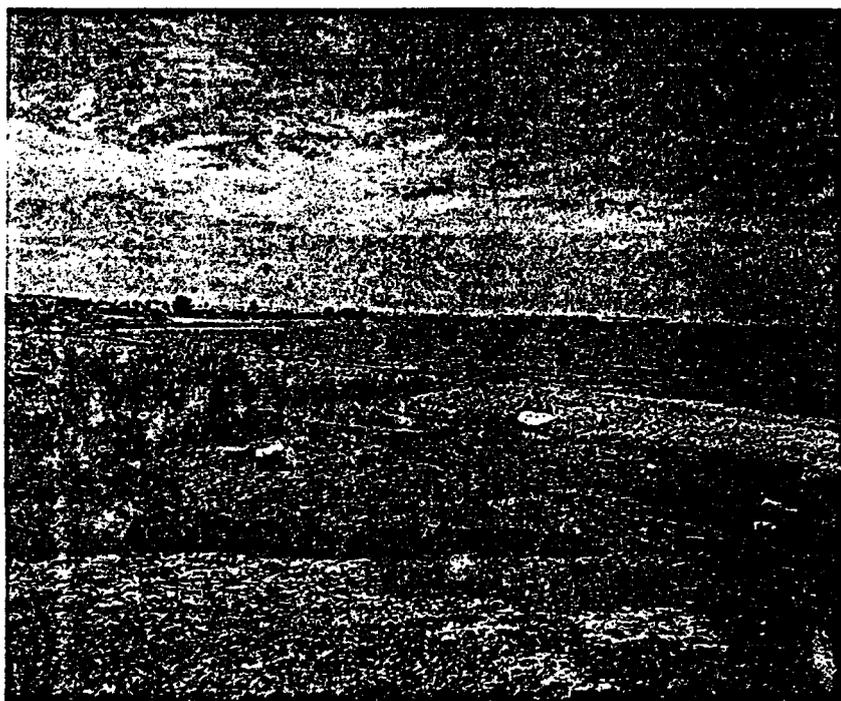
Los rangos estimados por algunos autores como HOFFMAN et al. en 1986 y THOMAS en el mismo año, auguran al final de la próxima centuria la posibilidad de superar el valor de 2 m respecto el nivel medio actual, lo cual supondría un importante problema para el futuro, dada la actual concentración mundial de población y actividades económicas en el litoral. Obviamente la fiabilidad de estas predicciones está ligada a la del cambio climático por intensificación del efecto invernadero.

*El vertido de efluentes directos al mar es uno de los problemas más urgentes en el litoral español.*

---

Máximo HERNANDEZ RUIZ  
Ldo. Ciencias Geológicas  
Francisco Javier AYALA CARCEDO  
Dr. Ingeniero de Minas  
Area de Ingeniería GeoAmbiental  
Instituto Tecnológico Geominero de España

---



Muestras de las expectativas públicas e institucionales, a nivel internacional, para desarrollar las alternativas estratégicas necesarias son, por ejemplo, la creación en Estados Unidos del denominado *Committee on Engineering Implications of Changes in Relative Mean Sea Level*, el auspicio de la UNESCO al Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar (PSMSL), órgano del Consejo Internacional de Uniones Científicas, o el desarrollo de proyectos en el marco de la Comunidad Europea en relación con el pasado y futuro de las fluctuaciones marinas.

La importante erosión que sufren ya más del 17 % de las playas españolas (en buena parte por la retención de sedimentos en presas y obras costeras), puede verse incrementada de cumplirse las hipótesis predictivas del futuro ascenso en el nivel medio del mar.

La entrada en vigor de la Ley 22/1988, del 28 de Julio, de Costas, define y delimita la zona de servidumbre de protección, ejecutándose recientemente los consiguientes deslindes a lo largo de los 8.000 Km del litoral español. Provincias como Geroña, Barcelona, Málaga y Valencia superan el 60 % de su franja costera con únicamente 20 m de protección, debido al in-

trusismo urbanístico, frente a los 100 m que establece la citada Ley en la casuística habitual.

En este limitado dominio público se ha desarrollado el Plan de Actuaciones 1983-1990 (MOPT), con inversiones que superan los 35.000 millones de pesetas, de los cuales un gran porcentaje se ha dedicado a regeneración y creación de nuevas playas.

En manifestación reciente del Secretario de Estado para las Políticas del Agua y Medio Ambiente, Vicente Alberó, se destacó la importancia de las regeneraciones de playas al encontrarse estrechamente ligadas al turismo, el mayor recurso económico español.

Una estimación de las pérdidas económicas por erosión costera en España, para el período 1986-2016, realizada por el ITGE, apunta un orden de magnitud en los costes de más de 300.000 millones de pesetas, suponiendo el mantenimiento del grado de peligrosidad considerado para cada sector, a partir del avance evaluado de la línea de costa en las últimas décadas.

La incertidumbre generada ante los efectos potenciales del presumiblemente acelerado ascenso del nivel medio marino, ha planteado al Area de Ingeniería Geo-Ambiental del ITGE una investiga-

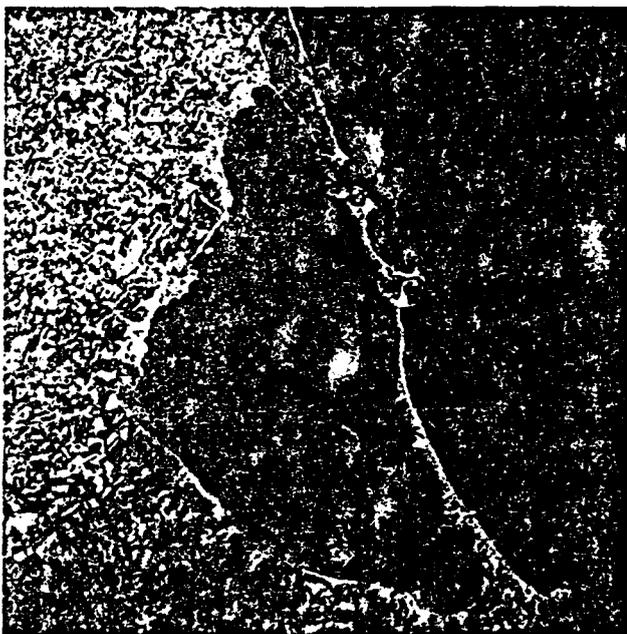
ción en el marco de la dinámica sedimentaria-erosiva y la evolución reciente secular registrada en los mareógrafos españoles.

### Evolución secular del nivel medio anual del mar

Los primeros registros con mareógrafos en el mundo apenas se remontan a 1831 en Sheerness, dentro del estuario del río Támesis, si bien en el siglo XVII ya se realizaban sistemáticas observaciones directas sobre escalas graduadas, en diversos puertos de Europa, para conocer la amplitud de las mareas.

Es evidente que el tratamiento de los datos mareográficos sin evaluar los factores incidentes en la aleatoriedad de las medidas, puede originar que el rango residual de incertidumbre sea tan importante que impida la utilidad de los valores en interpretaciones sobre el cambio del nivel medio marino estimado en mm/año.

La representatividad de las tendencias seculares, calculadas a partir de los registros, va a estar condicionada, en primera instancia, por el ámbito costero del emplazamiento. Así, mareógrafos situados en bahías, deltas, estuarios, lagunes o rías tendrán una presumible



*Invertir en investigación es estrictamente necesario para poder mitigar los efectos del cambio en el nivel medio del mar.*



*El Mar Menor es uno de los sistemas sedimentarios más vulnerables al potencial ascenso en el nivel medio del mar.*

influencia de factores locales con corto período, como por ejemplo la subsidencia del sedimento por consolidación o efectos barométricos en la hidrodinámica, que degradan la señal de la fluctuación media general, siendo en principio recomendables los registros obtenidos en áreas de costa abierta o plataformas marinas.

En España, los registros mareográficos más antiguos comienzan a finales del siglo XIX con las estaciones pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional de Alicante-I, Cádiz y Santander-I (1874, 1880 y 1893 respectivamente), si bien estas dos últimas presentan importantes lagunas en las series de datos.

En el caso de la estación

la serie mediante una recta, al igual que algunos autores han realizado, la presumible tendencia del nivel medio marino en Alicante desde finales del siglo XIX hasta la actualidad sería de ascenso con un rango de 0,55 mm/año, coherente con los ordenes de magnitud establecidos en otros mareógrafos de Europa o América.

No obstante, la consideración en estas fluctuaciones de factores como actuaciones constructivas portuarias, precisión del mareógrafo, cambios en los emplazamientos de la estación y movimientos relativos entre el cuerpo del dique-materiales del sustrato-nivel marino, evidencian la trascendencia de los ruidos técnicos en la señal registrada. Estos efectos

hacen en la práctica que más del 60 % de la serie en Alicante-I, no tenga la fiabilidad requerida en estudios sobre niveles medios.

Una vez centrado el análisis en los valores con mejor calidad, obtenidos a partir de mediados del siglo XX, se denota una falta de coherencia con la concepción preliminar del aumento progresivo en el nivel medio del mar para los últimos decenios, observándose en la estación mareográfica Alicante-I un importante descenso de orden decimétrico durante la década de los años 70, para dar paso a una suave elevación desde principios de los años 80 hasta la actualidad.

En un ámbito regional se ha sugerido, por QUEREDA SALLA y LOPEZ OLIVARES (1988), que dicho descenso parece ser generalizado en las costas valencianas, asociándose con él algunos rasgos geomorfológicos como rasas y pequeños escarpes existentes en la costa.

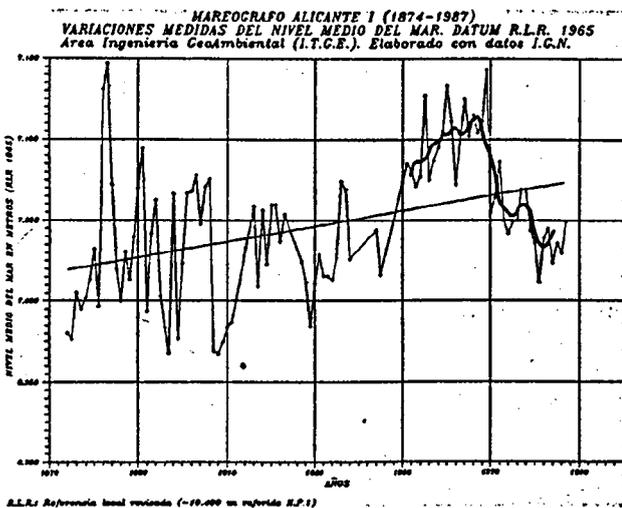


Figura 1. El ajuste mediante una recta a la serie de valores calculados a partir de los registros mareográficos, implica una tendencia general de ascenso en la última centuria de 0,55 mm/año. El análisis de distintos factores intrínsecos y extrínsecos con influencia en la estocasticidad de las medidas sugiere una escasa fiabilidad en los datos anteriores a 1950 para estudios sobre niveles medios. La curva gruesa representa la componente de baja frecuencia a partir de mediados del siglo XX, tras aplicar un filtro de paso bajo con potencia 5 años.

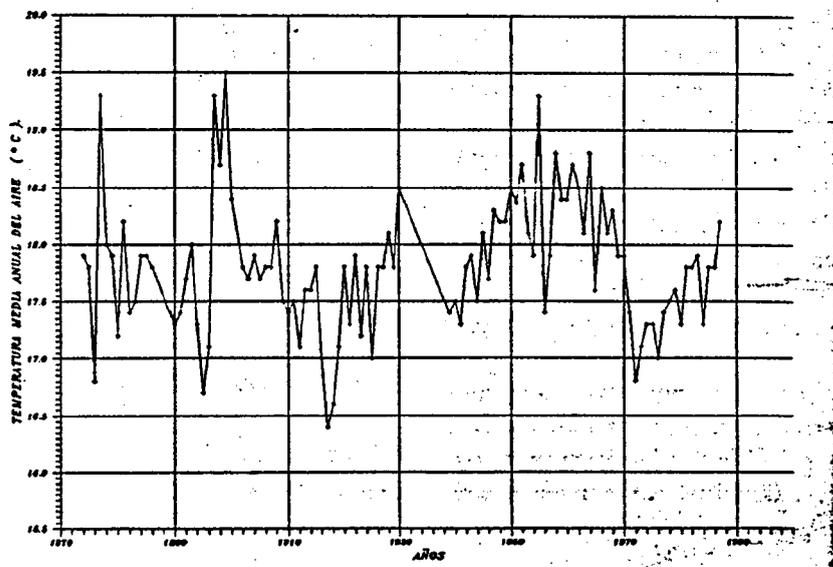
Figura 2. La tendencia hiperanual a partir de los años 50 en la temperatura media anual del aire, presenta una gran similitud con la observada en el nivel medio anual del mar, si bien con un cierto desfase temporal evaluado en 2-3 años.

Alicante-I, base principal de la red geodésica española, la uniformización y enlace al datum R.L.R. 1965 (PSMSL) de los niveles medios anuales, ha permitido obtener en nuestro país la única curva centenaria con escasos lapsos informativos de las variaciones relativas del nivel medio anual del mar (figura 1).

Los datos facilitados por el Instituto Geográfico Nacional comprenden desde 1874 a 1987, siendo la amplitud de la trayectoria en estos 113 años de 18 cm, con valores máximos en 1883 y 1969 y mínimos en 1897 y 1908.

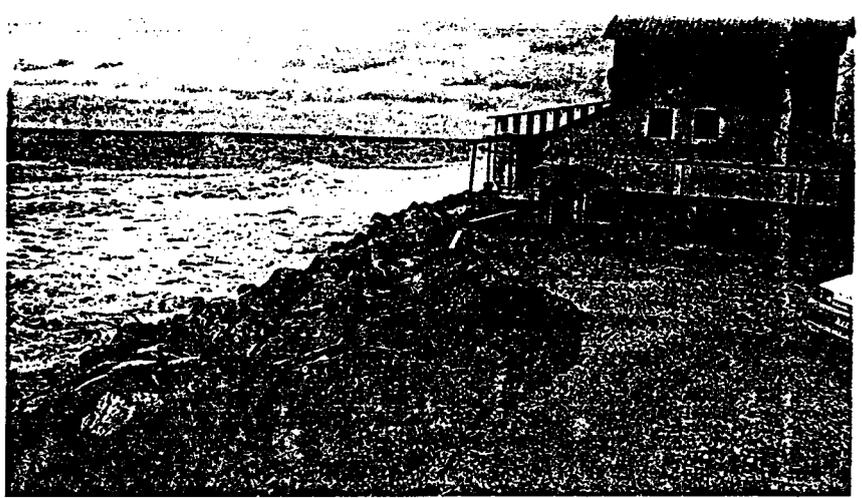
Si se efectúa un ajuste de

VARIACION ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE EN ALICANTE (1874-1987) Area de Ingeniería GeoAmbiental (I.T.G.E.). Elaborado con datos del I.N.M.



Asimismo, en algunos mareógrafos del Atlántico Norte se denota una bajada en el nivel medio del mar durante los años 70 (PIRAZZOLI, comentario personal), si bien su amplitud regional promediada con un filtro de 5 años es de unos 2 cm, casi un 80% menor que en nuestro caso.

La similitud existente en Alicante entre la curva de variación de las temperaturas medias anuales del aire (figura 2) y la tendencia hiperanual en el nivel marino, sugiere una relación fe-



Aspecto en 1989 de la antigua estación de tren en Valle-Niza (Málaga). El trazado ferroviario que existía hace unas décadas ha sido desmantelado por el mar. La línea de costa estaba a casi 200 metros hace unos 40 años.

fenómenos de expansión térmica en las capas superiores de los océanos ante el aumento global de la temperatura media del aire, estimado entre 0,6-0,8 °C en la última centuria.

El contraste climático estacional existente en el área mediterránea, con diferencias de temperaturas medias entre invierno y verano de más de 15 °C, y su variación interanual, sugiere conforme al modelo global una influencia significativa en los drásticos cambios mensuales y anuales del nivel medio marino.

Como marco de referencia, la variación estacional de los niveles medios mensuales del mar en la estación mareográfica Alicante-I considerando el reciente tramo ascendente hiperanual 1982-1987 (figura 4), presenta trayectorias periódicas anuales de amplitud entre 20-35 cm, con valores máximos coincidiendo con el otoño y mínimos generalmente al final del invierno.

La temperatura media mensual del aire para el mismo período (figura 5), presenta una elevación muy marcada durante los meses estivales de Julio y Agosto. Por otra parte, la temperatura media de las aguas superficiales en el entorno mediterráneo de Alicante tiene sus valores más altos en Agosto-Septiembre. La posible inercia térmica del mar, ligada a su enorme capacidad calorífica, no justifica en un modelo simple el desfase estacional existente entre la temperatura del aire y el nivel medio marino con valores máximos en Octubre-Noviembre.

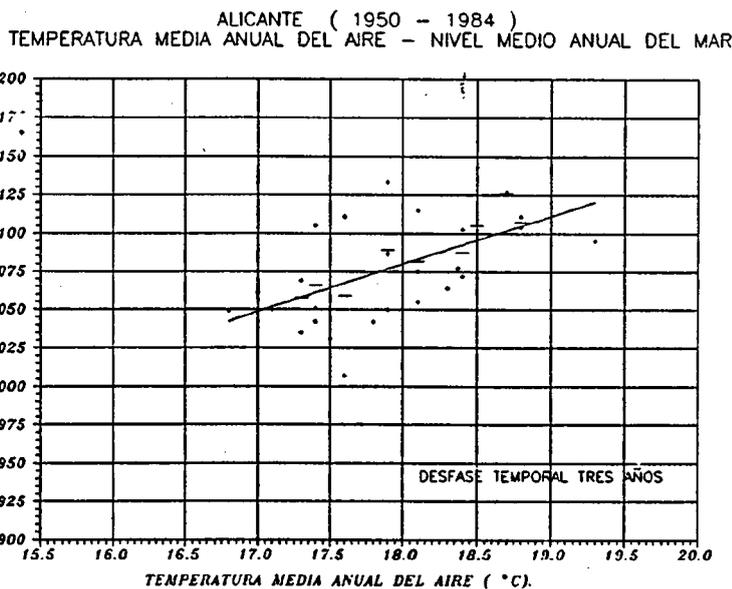


Figura 3. Relación entre los valores de los niveles medios anuales del mar y la temperatura media anual del aire, para un desfase temporal de tres años. Valores sin filtrar (1950-1984).

nomenológica en la componente de baja frecuencia, con un gradiente de unos 3 cm/°C para la respuesta desfasada 2-3 años del nivel medio anual del mar y ante la suave variación temporal de la temperatura media anual del aire, registrada en Alicante entre 1950 y 1984 (figura 3).

Este rango estimado se debe interpretar, debido a la complejidad del intercambio energético atmósfera-océano, como una integración dentro del modelo regional y global en que intervienen factores climáticos como temperatura, presión atmosférica, precipitacio-

nes, etc, y distintos factores oceanográficos. La alteración drástica por agentes intrínsecos o extrínsecos de algún componente del sistema puede ocasionar un efecto cascada desequilibrando el conjunto. La apreciable vulnerabilidad del Mediterráneo, como mar semicerrado, suscita cierta alerta.

### Cambio estacional en el nivel medio del mar

La apreciación de un ascenso decimétrico en el nivel medio global del mar durante el último siglo, se ha relacionado con

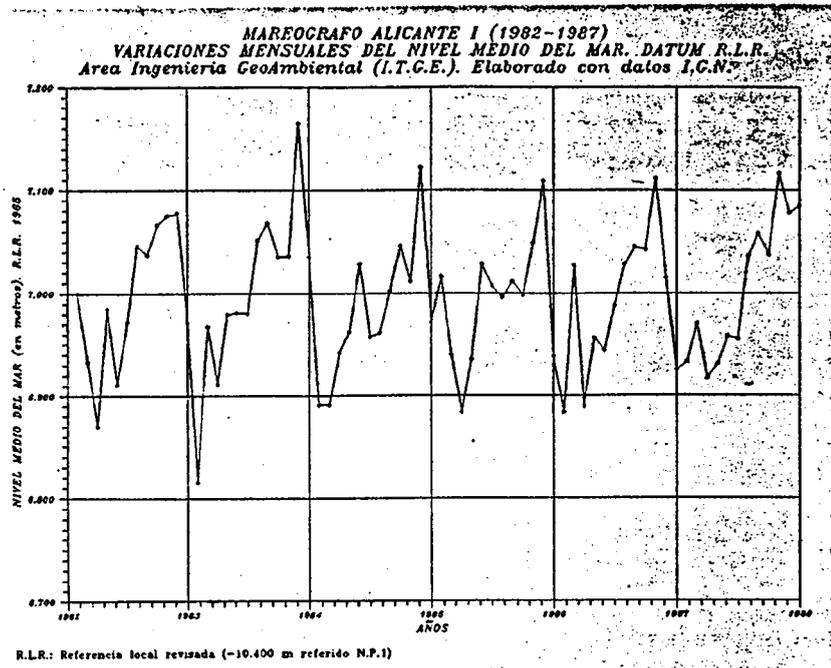


Figura 4. La variación estacional del nivel medio del mar presenta una marcada periodicidad y drásticos descensos durante el invierno relacionados con el fenómeno de formación de aguas profundas en el ámbito del Mediterráneo Occidental.

Un análisis comparativo con datos procedentes de otras estaciones mareográficas españolas, pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional, denota una gran analogía en las tendencias de Alicante-I, Cartagena, Almería-I y Cádiz. Otros mareógrafos situados en el ámbito del Mediterráneo Occidental, en Francia o Italia, tienen cambios anuales similares a los observados en la costa mediterránea española.

Una investigación realizada por el ITGE sobre esta particular dinámica, ha puesto de relieve un modelo de compensación holostérica gravitatoria que justifica estas importantes variaciones estacionales, basándose en los cambios de densidad de los niveles marinos superiores, y las fluctuaciones existentes en la interficies entre las aguas superficiales y profundas a lo largo del año.

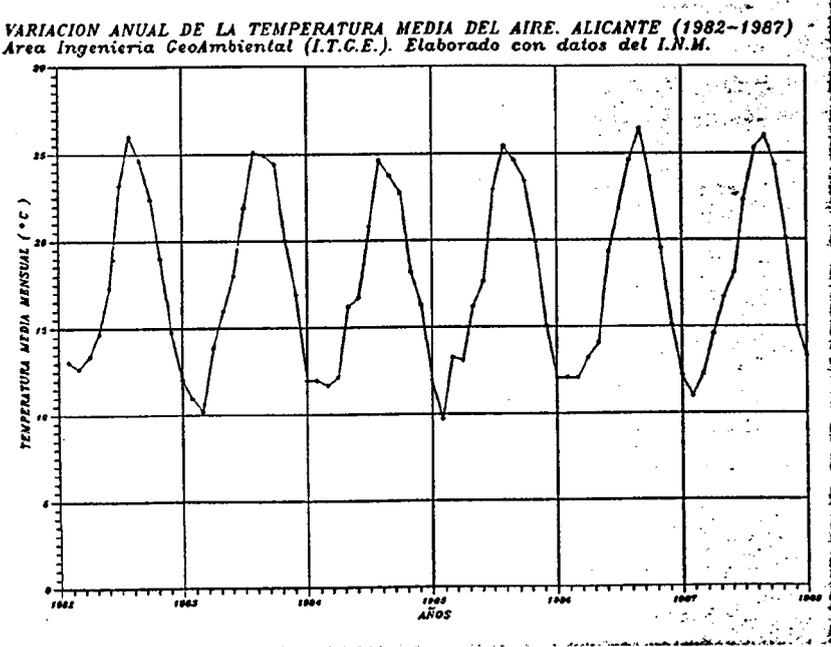


Figura 5. Los máximos térmicos se originan sistemáticamente durante el periodo estival, lo cual no coincide con los niveles máximos estacionales del mar (octubre-noviembre).

Los sistemáticos descensos que se originan durante el invierno, con diferencias mensuales en los valores que alcanzan los 17 cm (Noviembre-Diciembre, 1985), se sugieren relacionados con el fenómeno de formación de aguas profundas.

El progresivo aumento de los volúmenes de agua atlántica, con baja salinidad, en el dominio mediterráneo, desde principios de la primavera a finales del otoño, y su variable contraste de densidad con las aguas profundas, marca la tendencia observada de ascenso en el nivel medio durante la mayor parte del año. Factores climáticos como temperatura, presión atmosférica y viento intervienen de forma relevante en estos fenómenos.

Estas consideraciones implican un funcionamiento regional, en la evolución de los niveles medios anuales, ligado a las características oceanográficas y la dinámica estacional meteorológica, que trasciende en las tendencias observadas para los últimos decenios.

La posible variación térmica interanual y secular en las aguas profundas, ante el intercambio energético con los niveles superiores, ocasiona pequeñas alteraciones en la densidad, que afectan a grandes volúmenes. Un hipotético aumento de tan solo 1,5 °C en la temperatura de los niveles profundos presumiblemente motivaría una subida del nivel medio del mar superior a 2 m. La posible afección del hombre a estas aguas ocasionaría las alteraciones de ciclos seculares e inclusive milenarios con efectos importantes.

### Efectos potenciales del cambio en el nivel medio del mar en las costas mediterráneas españolas

Conforme se ha establecido para distintos escenarios de cambio climático en el siglo XXI, una significativa aceleración en el ascenso del nivel medio del mar al-

canzando varios metros ocasionaria: una erosión generalizada en la costa, la inundación de algunas áreas bajas litorales, un aumento

Considerando el equilibrio entre el dominio litoral emergido y sumergido, se han establecido rangos de retroceso en la costa con magnitud

años 70 presumiblemente ha enmascarado el sinérgico déficit sedimentario litoral ante el intrusismo urbanístico en el dominio emergido y la disminución de aportes fluviales. Una estimación a partir de los mapas de variación en la línea orilla para distintas fechas (MOPT) y los datos elaborados por JOSEP PARDO, del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia, sugiere un cambio en el comportamiento regional sedimentario de las playas valencianas, con un incremento en la tasa de acumulación o una disminución en la tasa de erosión de 74 cm/año respecto a los años 50 y 60. En algunos sectores muy vulnerables del litoral se acusan otros factores de influencia más local, que intervienen en el frágil equilibrio morfodinámico, ocasionando importantes cambios en la franja costera.



*El delta del río Vez en Málaga ha sufrido un importante retroceso durante la última década. Edificaciones construidas recientemente se han visto afectadas por la activa dinámica.*

en la acción del embate por oleaje y el incremento de la vulnerabilidad por intrusión salina en los acuíferos costeros.

La exposición de personas, infraestructuras, edificios y bienes ante estos peligros suscita el interés de adoptar medidas preventivas como la ordenación territorial de la franja costera considerando este factor de riesgo, o el desarrollo de planes de investigación, vigilancia y corrección.

El análisis retrospectivo de los efectos que en el litoral mediterráneo español ha habido en los últimos decenios, unido a los acelerados cambios hiperanuales del nivel medio del mar, descritos anteriormente, sugiere ser una buena herramienta de trabajo posiblemente adaptada a las peculiaridades de la problemática existente en nuestras costas, permitiendo contrastar la fiabilidad de las estimaciones teóricas.

Un ascenso de unos 15 cm en el nivel medio marino presumiblemente motivaría que la probabilidad de daños en el litoral durante los temporales aumentase al doble.

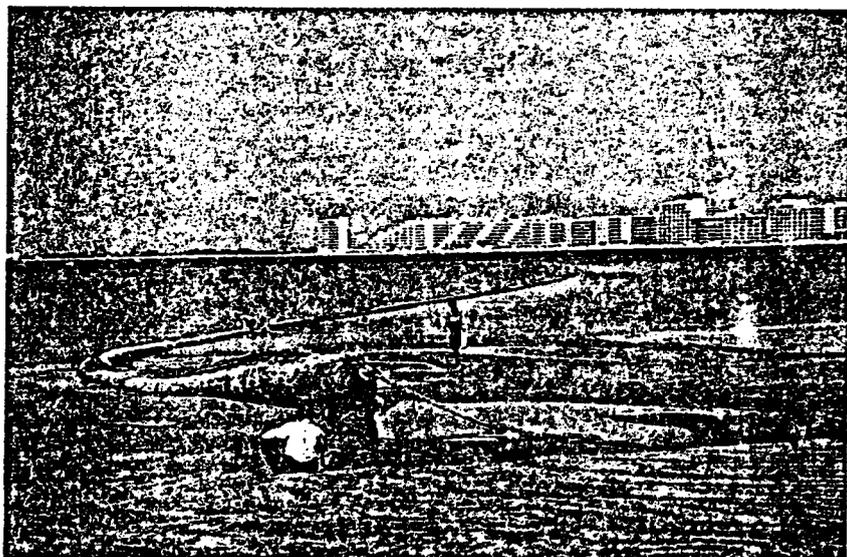
del orden de 1 m por cada cm de subida en el nivel medio.

La activa dinámica litoral realiza el reajuste del sistema con una respuesta en tiempo dependiendo de las condiciones de oleaje y corrientes. Lógicamente la velocidad de los procesos sedimentarios juega un papel fundamental en estas estimaciones.

El descenso decimétrico en el nivel medio anual del mar de los

El ascenso del nivel medio marino que se inicia a principios de los años 80 coincide con un nuevo punto de partida más acusado del déficit sedimentario en el sistema, incrementando los efectos de la erosión en el litoral. Esta fenomenología ha despertado inquietud en la opinión pública ante el manifiesto retroceso de la línea de costa.

Estos acelerados cambios decenales en el nivel medio del mar principalmente holostéricos ligados a



*La alimentación artificial de playas puede convertirse en práctica habitual durante las próximas décadas en todo el litoral mediterráneo español.*



las fluctuaciones climáticas, son más importantes en el Mediterráneo Occidental que en el Atlántico Norte. Este hecho puede estar relacionado con el intercambio energético y el contraste de densidades existente entre las aguas superficiales y profundas en cada uno de los ámbitos.

La respuesta en las costas mediterráneas al problema del cambio en el nivel medio del mar, trasciende los ámbitos científicos y técnicos buscando un compromiso social en la gestión y los usos de este limitado dominio público.

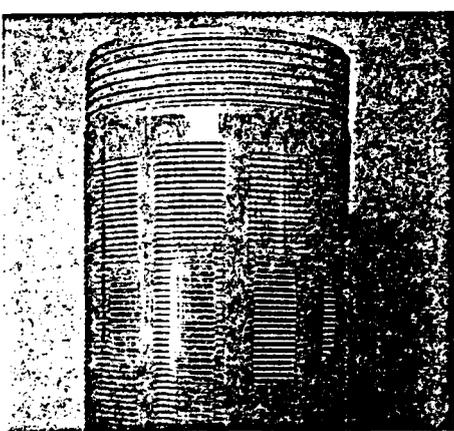
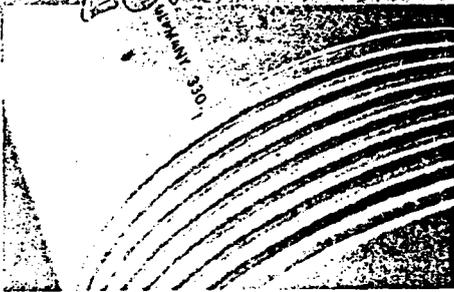
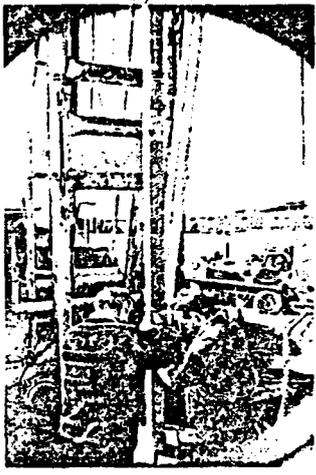
*Las antiguas casas de pescadores, buenos conocedores de la dinámica litoral de sus playas, se han convertido en muy vulnerables a la acción marina por el gran retroceso experimentado recientemente en la costa.*

**Bibliografía**

- AYALA, F.J., GONZALEZ, L. 1987. Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Instituto Geológico y Minero de España. 93 pp y 20 mapas.
- GORNIT, Z.V.; LEBEDEFF, S. y HANSEN, J. 1982. Global sea level trend in the past century. *Science*. 213: 957-966.
- HERNANDEZ RUIZ, M. y AYALA-CARCEDO, F.J. 1991. Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante-I (1874-1987). *Boletín Geológico y Minero*. 102 (6): 905-918.
- PARDO PASCUAL, J.E. 1991. La erosión antrópica en el litoral valenciano. *Colección Tesis Doctorales nº 4*. Generalitat Valenciana. Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Valencia 240 pp.
- PIRAZZOLI, P.A. 1990. Present and near future sea-level changes: an assessment. En: *Greenhouse effect, sea level and drought*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 325: 153-163.
- PIRAZZOLI, P.A. 1991. Possible defenses against a sea-level rise in the Venice area, Italy. *Journal of Coastal Research*. 7 (1): 231-248.
- QUEREDA SALA, J. y LOPEZ OLIVARES, D. 1988. Oscilaciones del nivel marino en Castellón. *Millars XI*. Colegio Universitario de Castellón. pp. 7-16.

# TUBOS Y FILTROS SIN CORROSION

## La solución *ESPECIFICA* a su necesidad



Los sondeos tradicionales, realizados con tubos metálicos, sufren al cabo de cierto tiempo los efectos de la corrosión, que los inutiliza, siendo necesaria su sustitución con el consiguiente gasto. PREUSSAG PWU, ha diseñado y experimentado desde hace ya 40 años la solución más adecuada a este problema. Los tubos y filtros de PVC rígidos y roscados de total resistencia y según Normas DIN. La gama de productos que PREUSSAG PWU ha desarrollado la forman tubos y filtros que van desde los 35 mm Ø a los 600 mm Ø con posibilidad de utilización en sondeos de más de 500 m de profundidad. La abertura de filtros va de 0,2 mm a 3 mm con una amplia gama intermedia. Igualmente, con las mismas características y diversidad, fabrican en su factoría de PEINE (Alemania), tubería piezométrica en PVC de alta seguridad de estanqueidad y tubería de impulsión de bombas. PREUSSAG PWU diseña y realiza todo el proceso de fabricación de sus tuberías con las máximas garantías y control de calidad.

Equipamiento de sondeos  
Tubería de impulsión  
Tubería piezométrica

P. Castellana, 210  
planta 14 - oficina 9  
28046 Madrid  
Tel. 250 79 34  
Fax 457 29 28



ESTIMACION DE FACTORES DEL MEDIO MARINO LITORAL CON  
IMAGENES TM Y MOS MESSR EN EL AMBITO DEL MAR MENOR  
(Murcia)

M. HERNANDEZ RUIZ; A. RIAZA GARCIA

I.T.G.E., Madrid 28003.

RESUMEN

El Mar Menor como medio litoral restringido de poca profundidad ofrece la oportunidad de ensayar la capacidad de las imágenes tomadas en los intervalos de longitudes de onda del visible, infrarrojo cercano y térmico, tales como vertido de efluentes, unidades biosedimentarias de los fondos, calidad de las aguas, transporte sólido litoral y morfologías sumergidas. Se manifiestan variaciones estacionales de fitoplancton y turbidez relacionadas con el incremento de vertidos urbanos.

Palabras clave: dinámica litoral, TM, MOS MESSR.

SUMMARY

The Mar Menor, a shallow restricted shore water environment permits to test the abilities of VNIR and thermal imagery to map spectral responses related to plumes, turbulence, circulation, bottom sediment, bottom vegetation cover, and sea surface temperature. Seasonal variation in phytoplankton content and turbidity produced by sewage are detected.

Keywords: shore dynamics, TM, MOS MESSR.

1. INTRODUCCION

La identificación y evaluación de los distintos factores ambientales inherentes al dominio litoral requiere la utilización de indicadores y técnicas informativas que con una concepción de talante integrador ayuden a discernir en la complejidad de las interacciones naturales y antrópicas singularmente dinámicas que se reflejan en los medios biosedimentarios costeros.

El análisis multitemporal de las alteraciones inducidas por el hombre, especialmente en áreas litorales restringidas como el Mar Menor, incide en la gestión del territorio.

La teledetección presenta en esta óptica ambiental del litoral un carácter integrador de la información obtenida con otras técnicas y metodologías tradicionales que requieren la realización de campañas de investigación marinas con grandes medios técnicos y humanos.

## 2.METODO DE ESTUDIO

El agua manifiesta sus distintas propiedades detectables por sensores pasivos en los intervalos del visible y el infrarrojo cercano de longitudes de onda más cortas y en el infrarrojo térmico. Por ello, se han tratado digitalmente una imagen Thematic Mapper con fecha de 17 de Mayo de 1990, y una imagen MESSR del 20 de Julio del mismo año. El sensor thematic mapper proporciona información en espacios espectrales adicionales al MESSR, muy especialmente el infrarrojo térmico. El MESSR, sustituto del MSS y el CZCS, se ha considerado un sensor apropiado para un seguimiento temporal relativamente asiduo de posibles características identificadas en los intervalos de longitudes de onda que cubre, dado su bajo costo.

El programa de tratamiento de imágenes de uso público desarrollado por la NASA empleado, escrito en FORTRAN, está instalado en un microordenador con una unidad de proceso central que posee una velocidad de proceso de 16.7 MHz, acelerador vectorial y acelerador de coma flotante, y cuenta con un sistema operativo UNIX. La resolución espacial del monitor de presentación es de 910 por 1152, y 10 bits de resolución de color, que proporciona 1024 colores distintos escogidos en una paleta de 16.7 millones de colores, con 256 niveles de gris por cañón en 12 planos, de los cuales dos están disponibles para la superposición de gráficos.

No ha habido comprobación directa de los fenómenos sugeridos por las imágenes en la fecha de registro de las mismas, pero sí observación posterior de puntos en la costa que aparecen como salidas de posibles vertidos, comparación con cartas náuticas y cartografías de vegetación acuática y rasgos del fondo marino publicadas.

### 3. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS, FISIOGRAFICAS Y DINAMICAS

El Mar Menor es un sistema biosedimentario holoceno playa barrera-lagoon funcional en la actualidad con una extensión interna de unos 130 Km<sup>2</sup> y profundidades inferiores a los 7 m. Presenta tres discontinuidades principales en la barra arenosa de La Manga: Encañizadas, Estacio y Marchamalo, que controlan el intercambio de aguas con el mar abierto y el susceptible mantenimiento de las características termohalinas restringidas del lagoon, con salinidades altas del orden de 40-50 por mil y temperatura del agua con valores de 30 a 5 °C por encima de la media superficial mediterránea (Anónimo, 1985; Arévalo, 1988).

Desde el punto de vista geológico en la depresión tectónica intrabética del Campo de Cartagena-Mar Menor, destaca la red de abanicos aluviales plio-cuaternarios enlazando los relieves montañosos con los glacis que conforman geomorfológicamente la mayor parte de la superficie en la depresión. Un escarpe degradado con trazado subparalelo a la actual línea de costa interna del Mar Menor, diferencia una unidad superior continental de limos rojos con cantos encostrados, de otra unidad inferior cuaternaria más moderna de limos negros formados en ambiente de albufera o marisma (Colodrón et al, 1977).

Las unidades fisiográficas más significativas son la ribera continental, las áreas insulares, la barra de cierre de La Manga y los fondos sumergidos (Díaz del Río y Somoza, 1991).

La ribera continental comprende el borde occidental del lagoon con poblaciones y actividades en su mitad septentrional. La red de drenaje existente en la depresión tributa al Mar Menor en los sectores central y sur de esta unidad, en régimen torrencial estacional responsable del proceso natural de colmatación del lagoon. Destaca la rambla de Albuñón, que desemboca en el vértice central de la Ribera, al poseer la mayor cuenca hidrográfica y un caudal semipermanente regulado por el desagüe de efluentes urbanos y aportes de canalizaciones agrícolas.

La Manga es un cuerpo sedimentario fundamentalmente arenoso donde los materiales más resistentes, volcánicos, calcareníticos y oolíticos cementados, cubren una superficie escasa originando pequeños resaltes morfológicos. Esta unidad fisiográfica presenta características morfodinámicas diferenciales entre el sector oriental condicionado por la activa dinámica litoral mediterránea, frente al sector

occidental menos energético del lagoon.

La facies sedimentaria que presenta una mayor extensión superficial en los fondos del Mar Menor es la denominada "Fangos negros anóxicos" (Catafau et al, 1990), densamente poblados por vegetación bentónica, fundamentalmente el alga clorofícea *Caulerpa prolifera* (Anónimo, 1985). Por otra parte, próximo a las orillas del borde interno del lagoon, predominan las arenas de cuarzo y fragmentos biogénicos carbonatados, especialmente en la franja occidental somera de La Manga, donde el alga bentónica rodofícea *Cymodocea nodosa* es la cubierta vegetal dominante (Anónimo, 1985).

Las corrientes en el Mar Menor están condicionadas por la oblicuidad de los frentes de oleaje respecto a la costa y los flujos circulatorios relacionados con el intercambio de aguas con el mar abierto.

#### 4. FACTORES DE DINAMICA LITORAL OBSERVABLES EN IMAGENES EN EL VISIBLE, INFRARROJO CERCANO Y TERMICO

El agua refleja o absorbe energía electromagnética en la mayor parte de las longitudes de onda del espectro, pero sólo en el visible (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) penetrará en la misma. La densidad óptica en profundidad es función de la turbidez del agua y aumenta con el incremento de longitud de onda. En aguas claras, la capa de agua penetrada es del orden de 10 a 20 m en 0.47  $\mu\text{m}$ , mientras que sólo alcanza de 20 a 40 cm a 0.75  $\mu\text{m}$  (Sturm, 1981).

Las variaciones de reflectancia en la superficie del agua están dominadas por la turbidez en el dominio litoral, mientras que es el contenido biológico del agua el que determina las diferencias observadas en mar abierto (Hovis et al, 1980). La presencia de vegetación acuática ocasiona absorciones en el azul y el verde del visible por la existencia de clorofila a y faopigmentos (Gordon et al, 1980). El color verde así adquirido por el agua se utiliza para la cartografía de fitoplancton en mar abierto (Sabins, 1987; Caselles, et al, 1986). El color del agua es el parámetro utilizado más generalizadamente para la cartografía de sus distintas propiedades. Su relación con la salinidad (Khorram, 1982) y presencia de distintos tipos de algas en conexión con mezclas de aguas continentales y marinas y contaminantes, se ha evaluado estadísticamente utilizando resultados de análisis químicos y biológicos del agua, así como cuantificaciones de color en función de los índices de Munsell (Monahan et al, 1981).

Se han utilizado sensores pasivos en la cuantificación de la concentración de sedimentos suspendidos en el agua (Aranuvachapun y Leblond, 1981; Munday y Alföldi, 1989; ; Lyon et al, 1988), y se han realizado experimentos de laboratorio para determinar la variabilidad espectral de los mismos en función de su composición y del tamaño de sus partículas (Zhimin Chen et al, 1990). También es conocida la influencia de la presencia de vertidos de sustancias grasas en la superficie del agua en el azul del visible (Vizy, 1974).

El infrarrojo térmico ha sido utilizado en el estudio de plumas térmicas industriales (Sabins, 1987), y en el estudio de corrientes en mar abierto y cuerpos pequeños de agua (LeDrew y Franklin, 1985).

La respuesta espectral de la superficie del agua recogida por sensores pasivos es producto de la interacción entre la batimetría, la rugosidad y turbidez asociadas a la misma en función del nivel de energía del medio, las características de los sedimentos del fondo marino, la presencia de vegetación, y la turbidez ocasionada por escorrentía superficial en épocas de tormenta, o vertidos de efluentes. A continuación se intenta ofrecer una evaluación ponderada de todos ellos en el Mar Menor.

## 5. TRATAMIENTO DE IMAGENES

Puesto que las características del medio marino costero producen respuestas espectrales más variables que en mar abierto (Hovis et al, 1980)), y en este trabajo sólo se apuntan consideraciones cualitativas, se asume que la dispersión atmosférica es uniforme en todo el área, y no se han hecho correcciones en este sentido. El defecto horizontal ocasionado por el barrido del sensor en pasadas alternativas, muy evidente donde los rasgos cartografiables en agua corresponden a diferencias en números digitales de una sola unidad en algunos casos, no se ha corregido. Sólo cuando los fenómenos a resaltar no se veían obliterados por las correcciones, se ha practicado un filtrado que eliminara este ruido en dirección sinparalela en el thematic mapper y sinmeridiana en el MESSR.

El tratamiento inicial se ha concentrado en la imagen thematic mapper, por su mejor resolución espacial y contar con una banda en el infrarrojo térmico. Las bandas 1, 2, 3 y 4, así como la 6, se han sometido a una cuidadosa segmentación de valores (Robinson y Srisaengthong, 1981). La banda 5 ha sido utilizada para definir con mayor precisión la línea de costa, no

siempre clara en las bandas anteriormente mencionadas por interferencias producidas en la respuesta espectral por un fondo marino muy somero con la superficie del agua.

El análisis de componentes principales sobre las bandas 1, 2, 3 y 4 del thematic mapper ha orientado la separabilidad de distintos rasgos en la superficie del agua. Asimismo se han ensayado varios cocientes y combinaciones algebraicas con las que se han cartografiado con anterioridad extensiones de vegetación acuática bentónica y planctónica, además de otras características que se detallan más adelante.

Todas las bandas MESSR se han sometido a un proceso similar de segmentación y cálculo de componentes principales. Las variaciones temporales en la respuesta espectral del agua son responsables de las diferencias entre ambas imágenes.

## 6. EXPRESION EN IMAGENES

Las características marinas restringidas del Mar Menor condicionan un amplio efecto de los impactos ambientales ocasionados por los vertidos de efluentes urbanos e industriales y por las acciones constructivas que alteran las características biosedimentarias de los fondos.

### 6.1. Los vertidos de efluentes

El análisis comparativo entre los canales 2 y 3 del sensor TM, respecto a sus canales espectralmente correspondientes del sensor MESSR sugiere la importante variabilidad del comportamiento espectral del agua.

Con objeto de evaluar los efectos en la calidad de las aguas del drástico aumento estival de la población y localizar los principales puntos de emisión de vertido, se han segmentado estos canales en la imagen TM de Mayo y la obtenida con el sensor MESSR a finales de julio del mismo año (fig.1).

En ambas fechas los vientos son de componente NE, si bien en el momento de adquirir la imagen TM existía fuerte marejada en el Mediterráneo con alturas de olas próximas a los 2 m., sugiriendo unas condiciones de agitación en el Mar Menor con mar rizada a marejadilla por la acción del viento del temporal, respecto a su estado habitual de calma. Estos factores intervienen tanto en el transporte sólido litoral como en la dispersión y distribución de los vertidos de efluentes.

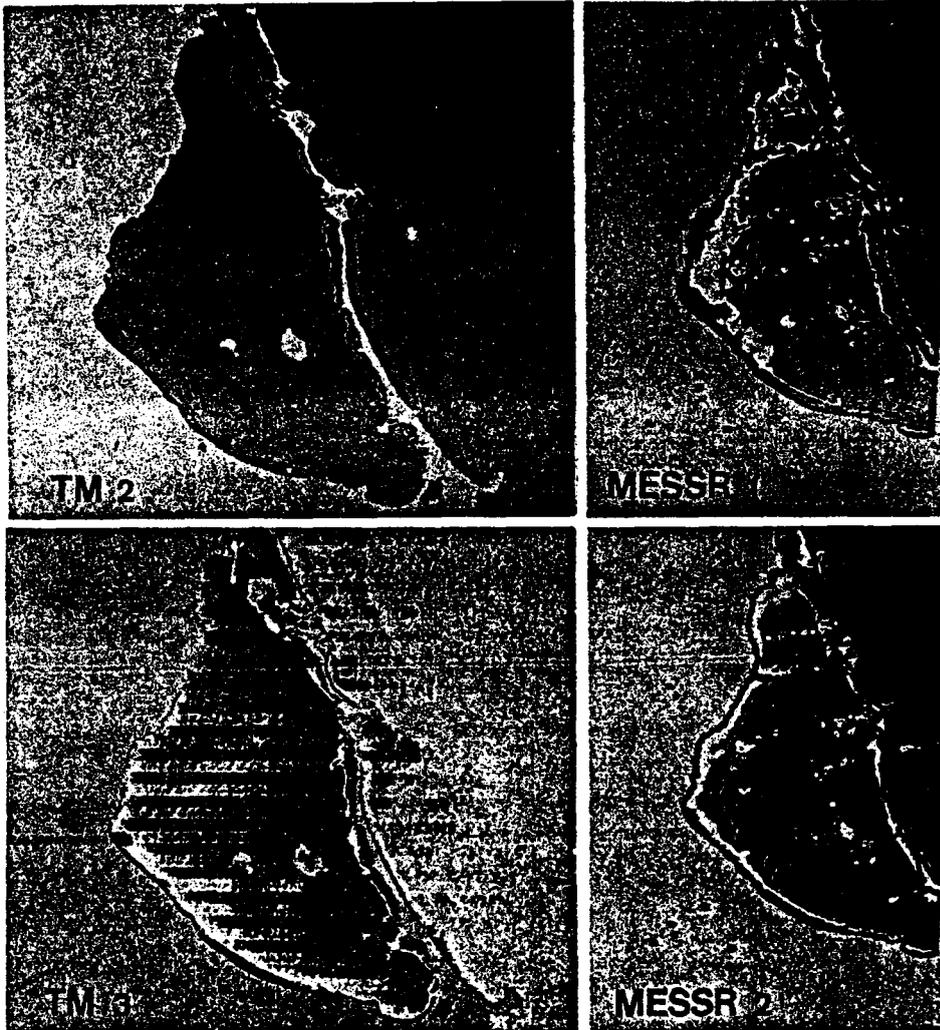


fig.1. Segmentación de números digitales en bandas Thematic Mapper 2 y 3 (Mayo 1990) y MESSR 1 y 2 (Julio 1990) espectralemente equivalentes. Colores asignados a ND de bajos a altos: azul oscuro, rosa, verde, amarillo, rojo, y azul turquesa. Tierra enmascarada utilizando la banda 7 en TM y banda 4 en MESSR.

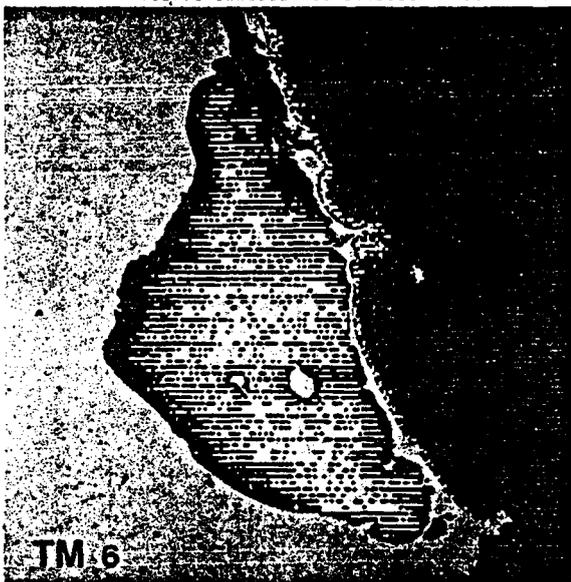


fig.2. Segmentación de ND en imágenes Thematic Mapper banda 6. Colores asignados de bajos a altos: azul oscuro, rosa, verde, amarillo, rojo, y azul turquesa. Tierra enmascarada utilizando la banda 7.

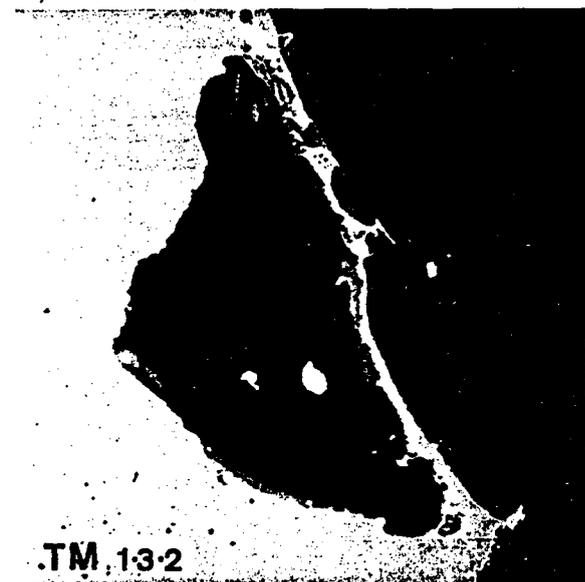


fig.3. Composición de color con bandas Thematic Mapper 1 (azul), 3 (rojo) y 2 (verde) en una simulación de color natural. Tierra enmascarada utilizando la banda 7.

En el vértice central occidental del Mar Menor destaca en las imágenes la pluma de vertidos inflexionada al SE de la rambla de Albuñón (fig.1), lo cual induce la afección de sus contaminantes a la costa meridional de la ribera. Sin embargo, el incremento vacacional de los vertidos contrasta principalmente en el sector noroccidental del Mar Menor con un significativo gradiente de reflectividad espectral de las aguas desde los sectores con valores más bajos alejados de las zonas de vertidos, hasta las áreas altamente reflectivas cercanas a los puntos de emisión.

El mayor aporte de nutrientes asociados a estos vertidos ocasiona un gran aumento estival en la concentración de fitoplancton, siendo muy notorio si comparamos las imágenes TM2 y MESSR1, donde la clorofila y turbidez tienen una notable influencia en el incremento de la reflectancia espectral del agua respecto a otras bandas del visible. Las características composicionales y variación en la turbidez de las aguas, se discrimina mejor en las bandas TM3 y MESSR2 correspondientes al rojo del visible.

En el extremo septentrional se observa en las imágenes TM la presencia de dos vertidos de salmueras procedentes de las salinas de S. Pedro del Pinatar. El contraste de densidades existente por la diferencia de salinidad tan marcada con las aguas del lagoon, motiva una escasa dispersión del flujo, gran continuidad y bordes sensiblemente netos después de recorrer una distancia de unos 3 Km desde el punto de emisión. No obstante, estos flujos salinos subsuperficiales o profundos dependiendo de su menor o mayor densidad, aparecen en este sector de baja energía del oleaje con componente NE inflexionados en el sentido de las agujas del reloj, presumiblemente asociado a las corrientes inducidas por las áreas de intercambio con el Mediterráneo de las Encañizadas y el Estacio.

La composición en color simulando color natural (fig.3) enfatiza con tonos azules especialmente intensos los vertidos con sustancias grasas en su composición, como la pluma de la rambla de Albuñón y los efluentes situados en el sector central interno de La Manga al sur del puerto Tomás Maestre. Los vertidos de salmueras presentan un progresivo cambio de tonalidad en azules oscuros motivado por la susceptible profundización de estos flujos de densidad.

## 6.2. Fondos sumergidos

Se han reconocido dos dominios infralitorales en las

imágenes TM del visible, destacándose la TM1 sobre el azul ante la menor influencia en la reflectancia espectral del agua de la turbidez y clorofila.

Estos dominios son coincidentes, como factor principal, con el contraste mineralógico-textural entre la unidad de fangos negros de baja reflectividad, frente a los sedimentos arenosos claros periféricos con abundante proporción de cuarzo y carbonatos característicos especialmente de la franja próxima a las orillas de La Manga (Estacio-Playa Honda) y el sector deltaico comprendido entre las poblaciones de los Nietos y los Urrutias.

Las áreas con vegetación bentónica degradada o menos densamente pobladas sobre el sustrato, como al sur de la isla Mayor, presentan una menor reflectancia en el contexto del dominio limo-arcilloso de los fangos negros. Por otra parte, ante el sustrato de las arenas marino-eólicas claras de la franja litoral occidental de La Manga, las áreas comparativamente menos reflectivas responden, sin considerar las zonas de vertidos, a fondos más cubiertos por praderas de algas que disminuyen la importante influencia de las características espectrales del sustrato.

### 6.3. Temperatura superficial del agua marina

El infrarrojo térmico (fig.2) en imágenes Thematic Mapper muestra una orla litoral en el lagoon de alta temperatura superficial relativa, siendo apreciable en las Encañizadas, costa insular y en las salinas de S. Pedro del Pinatar y Marchamalo.

En el Mar Mediterráneo se observa un aumento relativo de la temperatura superficial del agua por la entrada de aguas cálidas del lagoon a través de los canales de comunicación. Asimismo, muchos puntos aislados a lo largo del borde costero mediterráneo de mayor temperatura, se asocian a áreas de emisión de vertidos directos urbanos de edificaciones próximas.

### 6.4. Transporte litoral y morfologías sumergidas

El transporte de sedimentos unido a las condiciones de oleaje con fuerte marejada del NE, se manifiestan por su turbidez (fig.3). El puerto de S. Pedro del Pinatar al N y el puerto deportivo de Tomás Maestre en el centro de La Manga, actúan como barrera para esta dinámica sedimentaria longitudinal a la costa.

En los fondos del mar Mediterráneo aparecen rasgos

correspondientes a barras sumergidas calcareníticas de gran escala con longitudes de onda casi kilométricas y alturas de varios metros (fig.3), indicadoras de antiguas líneas de costa subparalelas a la actual (Catafau et al, 1990; Somoza, 1990; Diaz del Rio y Somoza, 1991).

## 7. CONCLUSIONES

La unidad sedimentaria limo-arcillosa de fangos negros que cubre gran parte de los fondos del Mar Menor, la unidad de arenas marino-eólicas claras de la franja litoral occidental de La Manga y las áreas degradadas o menos densamente pobladas de las praderas algares sumergidas, en un medio somero se expresan en el visible por la alta transmitancia óptica del agua, especialmente en el azul.

Las emisiones de efluentes al Mar Menor durante el verano ocasionan un aumento de turbidez y fitoplancton por los aportes de materiales en suspensión y nutrientes asociados a estos vertidos. En las bandas sobre el rojo, se discrimina mejor el grado de turbidez cuando el contenido en clorofila es alto. Las plumas de contaminantes con sustancias grasas se aprecian bien en una composición simulando color natural con tonos azules especialmente intensos.

En el infrarrojo térmico destaca la mayor temperatura del agua superficial de las salinas y una orla litoral interna al Mar Menor coincidente con las zonas más someras. En el dominio mediterráneo se aprecia un aumento térmico en los sectores ligados a la entrada de aguas cálidas provenientes del lagoon y a puntos de emisión de vertidos urbanos directos al mar.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Las horas de discusión multidisciplinar se han visto enriquecidas por los comentarios de Victor Diaz del Rio Luis Somoza, Angel Pérez Ruzafa y Concepción Marcos Diego. Asimismo, nuestro agradecimiento por la aportación de datos al Centro Oceanográfico del Mar Menor (IEO), Programa de Clima Marítimo y Banco de Datos Oceanográficos (MOPT), Observatorio Meteorológico de la Base Aérea de San Javier (INM) y al grupo de Geología Marina del ITGE.

## 9. BIBLIOGRAFIA

Anónimo, 1985. Posibilidad de aumento de la producción

pesquera del Mar Menor. Dto. de Ecología, Fac. de Biología, Universidad de Murcia. 160 p.

Aranuvachapun, S. y Leblond, P.H. 1981. Turbidity of coastal water determined from Landsat. Remote Sensing of Environment. 84: 113-132.

Arévalo, L. 1988. El Mar Menor como sistema forzado por el Mediterráneo. Control hidráulico y agentes fuerza, Bol. Inst.Esp. Oceanografía. 5 (1): 63-96.

Caselles, V., Lopez-García, M.J. y Soria, J.M. 1986. Estudio del estado trófico del lago de la albufera (Valencia) a partir de imágenes Landsat-5 (TM), Res. I Reun. Cient. del Grupo de Trabajo en Teledetección, Barcelona: 141-156.

Catafau, E., Diaz, J.I., Medialdea, T., San Gil, C., Vazquez, J.T., Wandossell, J. 1990. Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y zonas adyacentes nº 79-79E, E. 1:200.000 (Murcia), Publ. IGME. 146 p.

Colodron, I., Martinez, W. y Núñez A., 1977, Mem. Mapa Geológico de España E. 1:50.000 nº 956 (San Javier), Publ. IGME. Madrid.

Diaz del Rio, V. y Somoza, L., 1990, Mapa fisiográfico del Mar Menor E. 1:25.000, Inst. Esp. de Oceanogr. 16 p.

Gordon, H.R., Clark, D.K., Mueller, J.L. y Hovis, W.A. 1980. Phytoplankton pigments from the Nimbus-7 coastal zone color scanner: Comparisons with Space Measurements, Science. 210: 63-66.

Holyer, R.J. 1982. Comments on "Turbidity of coastal water determined from Landsat", Remote Sensing of Environment. 12: 255-258.

Hovis, W.A., Anderson, F., Austin, R.W., Wilson, W.H., Baker, E.T., Ball, D., Gordon, H.R., Mueller, J.L., El-Sayed, S.Z., Sturm, B., Wrigley, R.S., Yentsch, C.S., 1980, Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: System description and initial imagery, Science. 210: 60-63.

Khorrarn, S. 1982. Remote Sensing of Salinity in the S. Francisco Bay Delta. Remote Sensing of Environment 12: 15-22.

LeDrew, E.F. y Franklin, S.F. 1985. The use of thermal infrared imagery in surface current analysis of a small lake, Photogramm. Eng. and Remote Sensing. 51. nº5. May 1985: 565-573.

Lyon, J.G., Bedford, K.W., Yen, Ch. J., Lee, D.H. y Mark, D.J. 1988. Determinations of suspended sediment concentrations from multiple day Landsat and AVHRR data. Remote Sens. of Environm. 25: 107-115.

Monahan, E.C., Muircheartaigh, I.G. y Fitzgerald, M.P. 1981. The feasibility of using remotely-sensed colour as an index of Irish coastal water properties. Proc. of EARSEL-ESA Symposium, Voss, Norway, 19-20 May 1981 (ESA SP-167, July 1981): 233-237.

Munday, J.C.Jr., Alfoldi, T.T. 1979. LANDSAT test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solid measurement, Remote Sensing of Environm. 8: 169-183.

Robinson, I.S. y Srisaengthong, D. 1981. The use of Landsat MSS to observe sediment distribution and movement in the Solent coastal area, Proc. of EARSEL-ESA Symposium, Voss, Norway, 19-20 May 1981 (ESA SP-167, July 1981): 221-232.

Sabins, F.F.Jr. 1987., Remote Sensing, Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Co., 449 p.

Somoza, L. 1989. Estudio del Cuaternario litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante): Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto geodinámico, Tesis Doct. Un. Complutense de Madrid. 360 p.

Sturm, B. 1981. The atmospheric correction of remotely sensed data and the quantitative determination of suspended matter in marine water surface layers, in Cracknell, A.P., ed., Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology. Ellis Horwood Ltd. 542 p.

Vizy, K.N., 1974, Detecting and monitoring oil slicks with aerial photos, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 40: 697-708.

Zhimin Chen, Hansom, J.D. y Curran, P.J. 1990. The form of the relationship between suspended sediment concentration and spectral reflectance, Proc. of the 16th Annual Conference of the Remote Sensing Society, Remote Sensing and Global Change, 19th-21st Sept. 1990, Swansea (UK): 198-206.

APLICACION DE TECNICAS GEOFISICAS AL ESTUDIO DEL CUATERNARIO:  
PROSPECCION GEOELECTRICA MEDIANTE S.E.V. EN LA MARJAL DE OLIVA-PEGO  
(VALENCIA-ALICANTE)

HERNANDEZ RUIZ, M.\*; DEL VAL, J.\* y VIÑALS, M<sup>a</sup>.J. \*\*

\* Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. C/Ríos Rosas, 23. 28003-MADRID.  
\*\* Departamento de Geografía. Universidad de Valencia. Apdo. 22060. 46080-VALENCIA .

RESUMEN

La Marjal de Oliva-Pego, inserta en un sistema holoceno de restinga-albufera funcional en la actualidad, presenta una práctica ausencia de afloramientos que permitan elaborar paleorreconstrucciones específicas a nivel del Cuaternario, dado su carácter neotectónico subsidente.

Se han realizado diez sondeos eléctricos verticales que, a pesar de su dificultad de interpretación en este tipo de áreas con elevado nivel freático y variaciones importantes en la salinidad de las aguas, han complementado la información previa existente, tanto en profundidad como en extensión superficial. Se diferencian seis unidades georresistivas con un cierto significado geológico, obteniéndose los espesores y profundidades en cuatro de ellas, así como la localización del sustrato precuaternario caracterizado por las otras dos.

Palabras clave: Prospección geofísica, marjal, Cuaternario, Oliva-Pego, Mediterráneo.

ABSTRACT

The Oliva-Pego marsh, which is part of a still functional Holocene barrier-beach system, presents, because of its neotectonic trend, practically no sites that allow for specific quaternary palaeoreconstructions.

Despite the interpretative difficulties in this type of landscapes with high phreatic level and important oscillations in the

salinity of the water, ten prospectings have been carried out using electric vertical cores. These cores have completed previous stratigraphical information from mechanical cores, both in depth and extension. Six georesistive units of geological significance defined by their thickness and depth have been found. Four of these belong to the sedimentation from the Quaternary period and the other are related to the Prequaternary substrate.

Key words: Geophysical prospecting, marsh, Quaternary, Oliva-Pego, Mediterranean.

### INTRODUCCION

El ámbito tecto-sedimentario reciente en el cual se encuentra inserta la actual marjal de Oliva-Pego, presenta un carácter neotectónico subsidente que ha condicionado la configuración estratigráfica de las distintas unidades existentes en profundidad.

Hasta la fecha se han realizado en la marjal cerca de 100 sondeos mecánicos, si bien la gran mayoría presenta un escaso alcance, condicionado por sus objetivos. La planificación y desarrollo de una campaña de sondeos de investigación por parte del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia, con extracción de testigo continuo llegando a profundidades del orden de 50 metros, ha permitido un detallado estudio sedimentológico y unas primeras reconstrucciones estratigráficas sobre la evolución cuaternaria de la cuenca.

El desconocimiento de la disposición del sustrato y unidades existentes en profundidad, unido a los elevados presupuestos de estas campañas y los importantes espesores de sedimentos cuaternarios, ha requerido la utilización de técnicas de prospección del subsuelo de bajo coste y buen nivel informativo conforme los objetivos planteados.

En este sentido, se ha considerado oportuno complementar la información previa existente, tanto en profundidad como en cobertura superficial, mediante la realización de 10 sondeos eléctricos verticales (S.E.V.), apoyados en sondeos mecánicos, con configuración del dispositivo Schlumberger y distancia entre electrodos A-B de unos 400 m.

Las experiencias obtenidas en otras campañas de prospección geoelectrica con fines hidrogeológicos realizadas en el área de estudio (IGME, 1972; IGME, 1975; IGME, 1984), reflejan ciertas dificultades en la interpretación de las variaciones resistivas, consecuencia de los importantes cambios de salinidad existentes en el acuífero.

Asimismo, en un ámbito de características similares como es La Laguna de Venecia, otros autores (BLAKE et al., 1981) plantean la especial problemática interpretativa geoelectrica en estas áreas litorales con elevado nivel freático y alta salinidad que, en ocasiones, aportan resultados del método no válidos.

En este sentido, dentro del marco del denominado "Programme Complementaire de Sondages Electriques, Régions de Sagunto et de Valencia-Alcira" (ASTIER, 1973), se señala la necesidad de perforaciones mecánicas que apoyen con su información la interpretación de los sondeos eléctricos, así como la consideración de las condiciones del acuífero y de calidad de las aguas para la obtención de resultados más precisos.

El enfoque metodológico de la campaña geofísica realizada ha requerido un especial interés en las etapas básicas de la investigación, realizando una cuidadosa selección de emplazamientos y un análisis de las alteraciones producidas por diversos factores (tuberías en la línea de emisión-recepción, heterogeneidades laterales, encharcamientos, corrientes inducidas y salinización del acuífero).

Finalmente, la integración desde las primeras fases del trabajo de la información geológica e hidrogeológica, unido a la experiencia geofísica, permite obtener resultados satisfactorios de gran utilidad en estudios del Cuaternario.

## II.- CONSIDERACIONES METODOLOGICAS

La planificación de la investigación geofísica se ha desarrollado conforme las siguientes directrices:

- Recopilación de la información previa y análisis de la misma para determinar el diseño de la campaña: número de S.E.V., alcance de la prospección, distribución, contraste de datos, previsión de

posibles anomalías, etc.

- Trabajos de campo: realización de 14 S.E.V. con configuración del dispositivo Schlumberger, distribuidos en dos fases. La segunda fase se desarrolló tras la obtención de unos primeros resultados que permitieron seleccionar las zonas de especial interés. Cabe señalar que de la totalidad, cuatro de ellos no dieron resultados satisfactorios en la aplicación del método, motivado principalmente por las anomalías inducidas por el agua y por el elevado contenido salino de la misma (área de restinga y zona SE. de la Marjal). Dichos trabajos (véase tabla I) se llevaron a cabo durante el mes de Mayo de 1990 con un georresistivímetro digital de alta precisión, preparado especialmente para dispositivos tetraelectródicos.

- Interpretación de resultados: se realizó, en un principio, una interpretación manual de las curvas de resistividad aparente - AB/2, utilizando el método del punto auxiliar de Ebert y los ábacos de curvas patrón de Orellana-Mooney. Posteriormente, la integración de la información aportada por los sondeos mecánicos, unido al modelo geológico y a las características hidrogeológicas (calidad de las aguas, nivel piezométrico, porosidad de los materiales, etc) ha permitido obtener, mediante un procedimiento de inversión asistido por ordenador, un mayor grado de ajuste del modelo teórico a la curva de resistividad real, mejorando su presumible interpretación.

**TABLA I**  
**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS S.E.V.**

S.E.V.	DIRECCION A B	DISTANCIA AB/2
1	N 14° E	196 m
2	N 20° E	160 m
3	N 72° E	196 m
4	N 155° E	80 m
5	N 160° E	193 m
6	N 105° E	196 m
7	N 30° E	125 m
8	N 145° E	196 m
9	N 115° E	160 m
10	N 85° E	25 m

### III.- BASES GEOLOGICAS DE LA INTERPRETACION

La interpretación de los datos georresistivos requiere

considerar entre otros efectos las variaciones introducidas por las características litológicas de los materiales (composición, granulometría, porosidad, grado de alteración, etc), su disposición sedimentaria y los distintos aspectos hidrogeológicos anteriormente expuestos.

El sustrato aflorante en el área de estudio está constituido principalmente por materiales carbonatados calizo-dolomíticos del Cretácico Superior y margas blancas miocenas en discordancia con las unidades infrayacentes. En el ámbito del Cuaternario se han diferenciado una red de abanicos aluviales de edad pleistocena que presentan una mayor extensión superficial en el sector próximo a Pego y distintos subambientes sedimentarios insertos en el sistema holoceno de restinga-albufera (DUPRE, et al. 1988; VIÑALS et al. 1989; VIÑALS, et al. 1990; VIÑALS, 1991).

Desde el punto de vista hidrogeológico, en el ámbito de la Marjal de Oliva-Pego interaccionan la unidad acuífera de la Serra de Mustalla, la unidad de Segària y el acuífero correspondiente a la denominada Plana de Gandía-Denia (PULIDO, 1979; IGME 1981). Por otra parte se ha constatado el avance de la intrusión marina en las últimas décadas motivado por la concentración de extracciones en sectores reducidos del acuífero (SE. de la Marjal, finca Racó del Rosari) y el drenaje inducido con fines de transformación agrícola (PULIDO, 1979; IGME, 1981; VIÑALS, et al., 1990).

Los análisis de aguas efectuados en diversas campañas (PULIDO, 1979; IGME, 1981) indican el predominio de las facies bicarbonatadas cálcicas en la marjal, si bien existe una amplia zona de transición, con un aumento de la conductividad del agua hacia el sector oriental principalmente motivado por la influencia del contenido salino. Asimismo cabe destacar las facies cloruradas de los manantiales existentes en el borde oriental de la unidad de Mustalla, que dan lugar al Riu Bullent-Vedat, presentándose en el caso de la Font Salà un cierto termalismo, indicios de elementos metálicos (Zn) y una alta conductividad anómala entre 1000 micromhos/cm y más de 21.000 micromhos/cm (PULIDO, 1979).

Por otra parte, en la mitad septentrional de la unidad de Segaria, dentro del paraje denominado Balsa Sineu, los manantiales presentan asimismo facies cloruradas con residuos secos que oscilan

de 1000 a 2900 mgr/l y conductividad entre 1700 y 4600 micromhos/cm. Estos datos contrastan con los valores de 310 micromhos/cm a algo más de 500 micromhos/cm obtenidos para el resto de la unidad de facies bicarbonatadas cálcicas con bajo contenido salino (PULIDO, 1979).

Las consideraciones realizadas por otros autores (ASTIER, 1973; PULIDO, 1979; IGME, 1984) sobre las variaciones geoelectricas de los materiales en el área de estudio apuntan "la presencia de un importante nivel conductor entre los manantiales y el mar, y en el interior de la marjalería de Pego" (PULIDO, 1979), detectándose dos grupos de valores diferentes pero solapados (IGME, 1984):

- niveles con georresistividad menor de 10 ohmios x m que "deben de corresponder a los depósitos detríticos cuaternarios saturados por agua de alta salinidad".

- niveles con georresistividad menor de 50 ohmios x m que "probablemente corresponden a niveles margosos miocenos, aunque en algunos casos podrían corresponder a los depósitos detríticos cuaternarios afectados en menor grado por el proceso de intrusión".

Por otra parte el denominado sustrato resistivo "probablemente constituido por calizas y dolomías cretácicas, ..., se encuentra a profundidades variables entre 80 y 140m", si bien "únicamente se detecta de forma más o menos clara en el sector central de la marjalería y en las proximidades de los relieves carbonatados" (IGME, 1984).

No obstante, la especial problemática interpretativa de estas áreas litorales con elevado nivel piezométrico y variaciones importantes en la salinidad del agua, condiciona un elevado rango de variación de resistividad para materiales litológicamente idénticos, como es el caso de "las dolomías saturadas de la formación Creu que dan valores de resistividad comprendidos entre 12 y 80 ohmios x m, e inferiores a éstos a partir de 200 m de profundidad", motivado por la existencia de agua con elevado contenido salino (PULIDO, 1979). Esto difiere sustancialmente de los valores de resistividad usuales de estos materiales, superiores a 1000 ohmios x m.

Finalmente, cabe señalar que la investigación geofísica con métodos eléctricos proporciona información de espesores y profundidades de los distintos niveles o unidades georresistivas que

S.E.V. Nums. :1,2,5,7,8  
 MARJAL OLIVA - PEGO  
 VALENCIA - ALICANTE

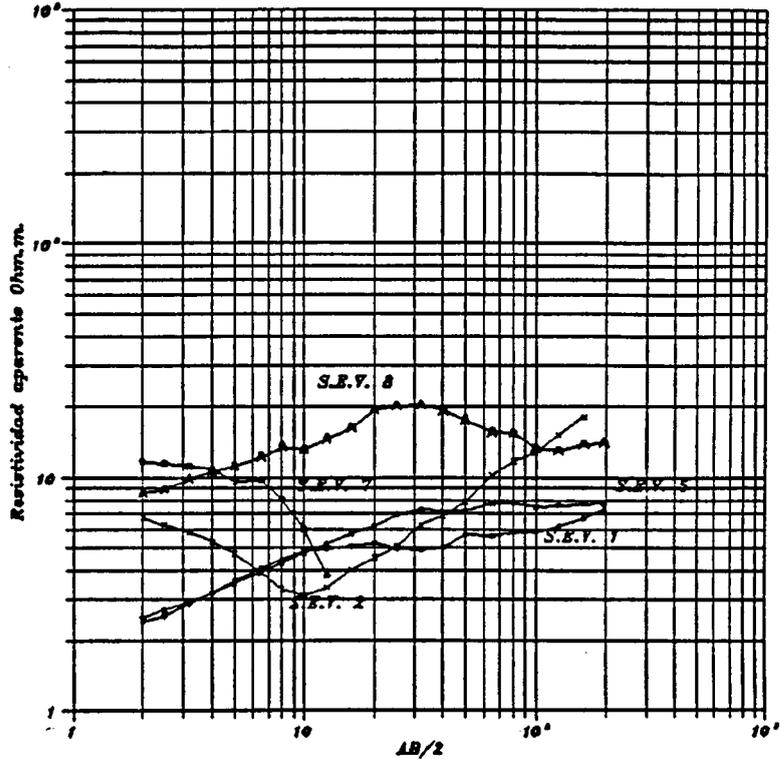


FIG. 1a. AREA DE MARJAL

S.E.V. Nums. :3,4,6,9,10  
 MARJAL OLIVA - PEGO  
 VALENCIA - ALICANTE

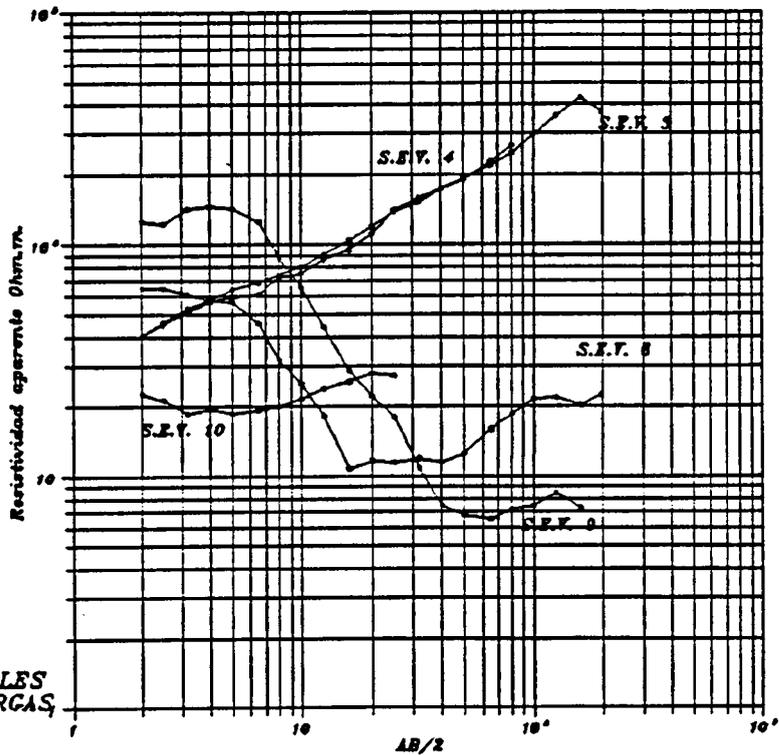
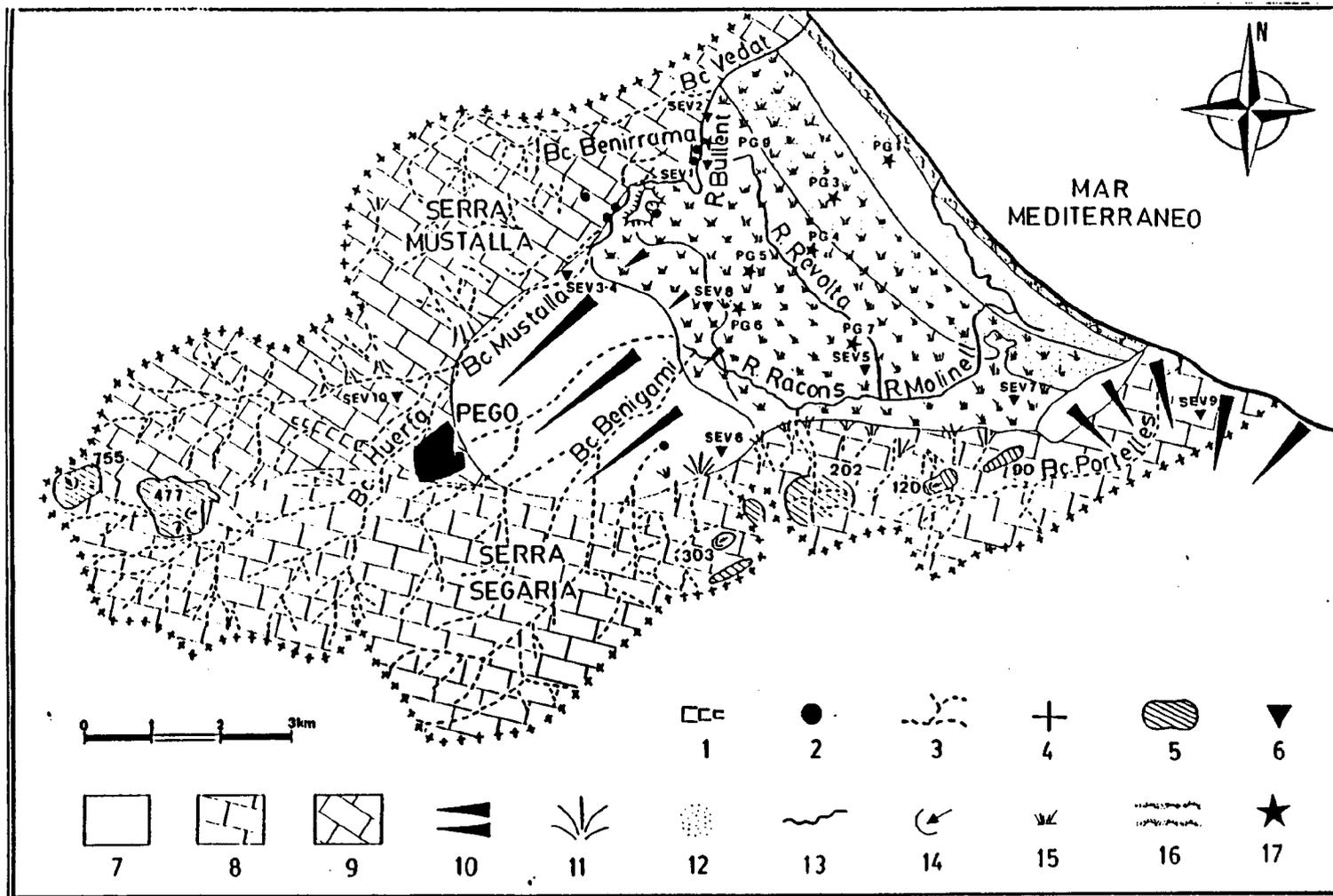


FIG. 1b. ABANICOS ALUVIALES  
 Y TEST EN MARGAS

Figuras 1a y 1b. Curvas de variación de la resistividad aparente con la distancia entre electrodos  $AB/2$ . Apréciase la baja resistividad de los S.E.V. realizados en el área de marjal y la tendencia de los valores medios en el test en margas (S.E.V. 10).



(Segon UINALS, 1991)

Figura 2.- Esquema geomorfológico, situació de S.E.V. i principals aspectes hidrogeològics. 1: Valle de fondo plano. 2: Manantial. 3: Barranco. 4: Divisoria de aguas. 5: Restos de superficie de erosión. 6: S.E.V.. 7: Acuífero Plana de Gandia-Denia. 8: Acuífero de Mustalla. 9: Acuífero de Segaria. 10: Abanicos aluviales. 11: Conos de deyección. 12: Rostinga. 13: Caudal perenne. 14: Sumidero. 15: Marjal. 16: Dunas. 17: Sondeo mecánico.

presentan un cierto contraste condicionado por los factores incidentes en el flujo del potencial, debiéndose interpretar estos límites no con un carácter neto sino integrados en el modelo geológico.

#### IV.- CONSIDERACIONES GEOELECTRICAS DE LOS S.E.V.

Se han obtenido, con resultados del método presumiblemente fiables, 10 curvas de variación de la resistividad del terreno en función de la distancia entre electrodos AB/2 (figura 1a y b). El emplazamiento de los S.E.V. (véase figura 2), se ha efectuado tanto en áreas de marjal como en abanicos aluviales, si bien ha sido necesario la realización de S.E.V. paramétricos (SEV-3 y SEV-4) y un S.E.V. de test directamente emplazado en un afloramiento de margas miocenas existente en las proximidades de Pego.

A continuación se describen los aspectos más sobresalientes de los mismos:

S.E.V. 1 : se localiza en el extremo Norte de la marjal, cerca de las estribaciones de la Serra del Mustalla y próximo al margen derecho del Riu Bullent-Vedat. Cerca de este S.E.V. se encuentra el sondeo mecánico PEGO 9 que alcanza los 23 m de profundidad. El nivel piezométrico se encuentra en superficie y en las proximidades existe una surgencia de agua salobre (Font Salà).

El interés de este emplazamiento radica por una parte en contrastar la información proporcionada por el sondeo mecánico con los datos georresistivos y por otra en determinar la profundidad a la cual se localiza el sustrato.

En el S.E.V. 1 se han diferenciado seis niveles con un cierto contraste en la resistividad:

- Nivel geoelectrico I: presenta un valor de resistividad en torno a los 2 ohmios x m y una profundidad de unos 2m, coincidiendo con los niveles de turbas con alto contenido en materia orgánica representados en el sondeo mecánico PEGO 9.

- Nivel II: se sitúa entre los 2m y los 4.5m de profundidad, con una resistividad de unos 13 ohmios x m que caracteriza, en comparación con la testificación de PEGO 9, un cuerpo arenoso.

- Nivel III: tiene un espesor aproximado de unos 18 m, alcanzando una

profundidad algo superior a los 22 m. Los valores de resistividad son bajos, próximos a los 4 ohmios x m, relacionándose con materiales limoarcillosos por debajo del nivel piezométrico en condiciones de alta salinidad.

- Nivel IV: tiene un espesor de unos 20 m, con valores de resistividad en torno a los 11.5 ohmios x m, es decir semejante al nivel II. De este modo, si se atiende al contexto sedimentario, se interpreta como un aumento de la fracción gruesa respecto al nivel III.

- Nivel V: presenta un valor georresistivo similar al nivel III; sin embargo, el espesor es muy superior al alcanzar una profundidad de unos 117 m. No existen datos estratigráficos de contraste que permitan saber con seguridad las características de estos materiales, si bien es presumible su similitud en gran parte a los considerados en el nivel III.

- Nivel VI: contrasta su elevada resistividad respecto a los niveles suprayacentes, con 122 ohmios x m. Se interpreta como materiales calizo-dolomíticos karstificados en presencia de agua con elevada salinidad.

S.E.V. 2: se sitúa a unos 200 m al NE del S.E.V. 1, junto a la Font Salà y muy próximo a los relieves.

La elección de este punto viene dado por el interés de contrastar los resultados del S.E.V. 1 y completar la reconstrucción de un corte transversal apoyado por sondeos mecánicos (VIÑALS, 1991).

En el S.E.V. 2 se han diferenciado los siguientes niveles georresistivos:

- Nivel I: presenta un valor de resistividad en torno a los 2 ohmios x m, y una profundidad próxima a los 2m. Se trata de limos arenosos negros con alto contenido en materia orgánica, cuya capa superficial está bonificada.

- Nivel II: alcanza una profundidad de unos 3 m y muestra valores de resistividad en torno a los 19 ohmios x m. Su interpretación es semejante a su homónimo en el SEV 1, si bien disminuye su espesor.

- Nivel III: llega hasta una profundidad de unos 29 m y la resistividad disminuye sustancialmente respecto al nivel II, con valores en torno a 4-5 ohmios x m. Asimismo se interpreta con características sedimentarias semejantes al Nivel III del S.E.V. 1.

- Nivel IV: el valor de la resistividad es de unos 7 ohmios x m poco contrastada con los 4-5 ohmios x m. del nivel anterior. Sin embargo, su comparación con los niveles III y IV del S.E.V. 1 indican unas características similares de sus homónimos, en cuanto a profundidad y variación de la resistividad.

S.E.V. 3 Y 4 (paramétricos): se han realizado dos S.E.V. paramétricos en el extremo de un extenso abanico aluvial que se sitúa en las estribaciones de la Serra de Mustalla. Por otra parte la presencia en las proximidades del Barranc de Mustalla con buena continuidad en los afloramientos, proporciona interesantes datos de los primeros niveles de la secuencia a investigar.

La ejecución de dos S.E.V. con configuración paramétrica en esta zona obedece a las siguientes consideraciones:

- . Calibrar la información geoelectrica de los niveles existentes en profundidad, dada la ausencia de sondeos mecánicos en este sector.
- . Investigar la continuidad lateral de los supuestos niveles lenticulares asociados a estos depósitos de abanico.
- . Confirmar la profundidad del sustrato.
- . Estudiar las variaciones resistivas de los materiales en condiciones de baja salinidad del agua que posiblemente contrastaría con los valores obtenidos en otros S.E.V.

Las principales características de los niveles diferenciados son las siguientes:

- Nivel I: no supera el metro de espesor y presenta resistividades en torno a los 23 ohmios x m. Corresponde a tierras de labor.

- Nivel II: alcanza una profundidad en torno a 1.70 m y resistividades que superan los 200 ohmios x m. Coincide con niveles de gravas y cantos cementados que se observan en el Barranc de Mustalla.

- Nivel III: tiene un espesor de unos 75 cm alcanzando, por tanto, unido a los niveles suprayacentes, una profundidad de 2.50 m. Los valores resistivos se encuentran en torno a los 12 ohmios x m, constatando la presencia de un nivel arcilloso en condiciones secas que se observa en un corte del Barranc de Mustalla. En VIÑALS (1991) relaciona este nivel con un paleosuelo interglaciar.

- Nivel IV: se trata de una potente y homogénea unidad desde el punto de vista georresistivo de unos 50 m de espesor y un rango de 246 ohmios x m. Este nivel de alta resistividad, al igual que el Nivel II, se interpreta como facies proximales de abanicos aluviales fuertemente cementados.

- Nivel V: a partir de unos 52 m de profundidad se presentan las resistividades más altas de todo el área de estudio, próximas a los 2000 ohmios x m, considerándose que se trata de un sustrato resistivo calizo-dolomítico poco karstificado.

S.E.V. 5: se sitúa en el área de marjal, próximo al paraje denominado Balsa Sineu (véanse las características hidrogeológicas descritas en el apartado anterior) y se apoya en el sondeo mecánico PEGO 7 de 21 m de profundidad. En el momento de la realización del S.E.V. existían importantes encharcamientos en la zona que posiblemente pudieron inducir anomalías en las medidas registradas, no considerándose su corrección en los actuales métodos interpretativos.

- Nivel I: alcanza los 2.5 m de profundidad con valores de resistividad de 2.5 ohmios x m, semejante al primer nivel de los S.E.V. 1 y 2. Se trata en este caso de materiales limoarenosos con abundante materia orgánica (PEGO 7).

- Nivel II: presenta una resistividad baja de unos 2.5 ohmios x m, relacionándose con materiales limoarcillosos al menos en su tramo superior. Sin embargo, el gran espesor asignado en la interpretación de la curva de resistividades, unos 287 m, parece responder a anomalías ocasionadas por la elevada salinidad del agua intersticial que homogeneiza las posibles diferencias resistivas de los distintos materiales.

- Nivel III: este nivel se diferencia este nivel a partir de los 290 m de profundidad con una resistividad de unos 11 ohmios x m y se interpreta, considerando la estratigrafía del área y la morfología de la curva de resistividades, como un sustrato de baja resistividad con un presumible carácter margoso.

S.E.V. 6: se sitúa próximo a la carretera Pego-Verger, en el extremo SE. del gran abanico aluvial que se extiende desde Pego.

- Nivel I: alcanza los 3.6 m de profundidad presentando resistividades de 69 ohmios x m.

- Nivel II: presenta resistividades que no superan los 10 ohmios

x m y alcanza los 31 m de profundidad. Se interpreta como un nivel de materiales de carácter limoarcilloso, ya detectado en otros puntos.

- Nivel III: se trata de un nivel de sólo 8 m de espesor, pero con un contraste resistivo muy importante respecto los niveles anteriores (436 ohmios x m). Probablemente este valor responde a la presencia de materiales gruesos muy cementados pertenecientes a facies proximales de abanicos aluviales pleistocenos.

- Nivel IV: presenta una resistividad de unos 10 ohmios x m y con una tendencia de la curva en este tramo similar a la detectada en el test (S.E.V. 10), por lo que se puede determinar su pertenencia a las margas del sustrato.

S.E.V. 7: se encuentra emplazado en el extremo SE. de la marjal, área con gran influencia de agua con elevada salinidad, que ha impedido en gran parte la ejecución del S.E.V.

Se han diferenciado los siguientes niveles, si bien con un carácter superficial:

- Nivel I: alcanza una profundidad de 3.4 m y valores de resistividad en torno a los 11 ohmios x m. Corresponde a niveles arenosos y terrenos de bonificación.

- Nivel II: presenta un escaso espesor (unos 40 cm), pero con un buen contraste, al alcanzar resistividades próximas a los 70 ohmios x m. Se interpreta en relación con las observaciones realizadas en afloramientos próximos -corte del Safari Park (VIÑALS, 1991)- como niveles de gravas con matriz arenosa.

- Nivel III: se encuentra a partir de 3.8 m de profundidad y presenta valores muy bajos de resistividad, influenciados por la presencia de agua intersticial con alto contenido salino en materiales de textura fina.

S.E.V. 8: se localiza en la zona central de la marjal.

- Nivel I: llega hasta los 3,8 m de profundidad con valores de resistividad próximo a los 9 ohmios x m. Se interpreta como limos arenosos en condiciones secas, que se localizan en varios sondeos mecánicos.

- Nivel II: alcanza los 27 m de profundidad y resistividades de 26 ohmios x m, interpretándose como un aumento de la fracción gruesa respecto al nivel anterior.

- Nivel III: llega hasta los 53 m de profundidad, con valores de unos 6 ohmios x m. Representa los niveles limoarcillosos detectados en otros sondeos.

- Nivel IV: presenta valores de resistividad de unos 18 ohmios x m y posiblemente corresponde al sustrato margoso existente en el área.

S.E.V. 9: se sitúa en el denominado abanico del río Girona, en el paraje conocido como la Almadrava.

- Nivel I: llega hasta casi los 4 m, con unas resistividades importantes del orden de 170 ohmios x m. Corresponde a depósitos de abanico aluvial en facies proximales y medias que afloran en superficie.

- Nivel II: alcanza una profundidad de 14 m y presenta resistividades próximas a los 26 ohmios x m. Sus características son similares al nivel II del S.E.V. 8.

- Nivel III: constituye un nivel de baja resistividad, con carácter semejante a su homónimo en el S.E.V. 8 (4 ohmios x m). Alcanza una profundidad de unos 57 m.

- Nivel IV: con resistividades de unos 20 ohmios x m, se interpreta como las margas del sustrato.

S.E.V. 10: este sondeo de test, realizado sobre un afloramiento de margas, constituye un marco de referencia para contrastar los valores de resistividad y la tendencia de las curvas obtenidas en el resto de las prospecciones.

- Nivel I: alcanza una profundidad de 1.2 m, con resistividad de unos 27 ohmios x m. Corresponde a un suelo de labor mejorado con aportes de gruesos.

- Nivel II: llega hasta una profundidad de 3,4 m, con valores de resistividad del orden de 13 ohmios x m. Este valor corresponde a las margas alteradas aflorantes.

- Nivel III: con una resistividad de 31 ohmios x m caracteriza a las margas poco alteradas, situadas por encima del nivel freático.

#### V.- IMPLICACIONES GEOLOGICAS DE LA PROSPECCION

La interpretación geológica de los datos proporcionados por la

prospección geoelectrica del subsuelo requiere un buen conocimiento de las características estratigráficas de las distintas unidades existentes en profundidad. Este carácter integrador, en el cual el contexto sedimentario adquiere una especial relevancia, permite la obtención de resultados satisfactorios de gran utilidad en estudios del Cuaternario.

Desde este enfoque metodológico se ha considerado oportuno sectorizar la información obtenida en los S.E.V. realizados, en función de su marco geológico y estratigráfico:

MARJAL (S.E.V. 1, S.E.V. 2, S.E.V. 5, S.E.V. 7 y S.E.V. 8)

Los S.E.V. quedan, motivado por la dificultad de encontrar zonas no encharcadas accesibles con dimensiones suficientes para extender los electrodos, distribuidos de forma periférica a la marjal. Dentro de las características comunes que aparecen en ella se han identificado tres unidades:

- UNIDAD A. Es una extensa unidad superficial existente en todo el ámbito sedimentario de la marjal. Se caracteriza por presentar resistividades en torno a los 2 ohmios x m, alcanzando una profundidad de unos 2-2.5 m (S.E.V. 1; S.E.V. 2; S.E.V. 5). No obstante, en algunos puntos se detectan valores algo superiores de resistividad y profundidad motivado por su interacción gradual con sedimentos litorales o facies distales de abanico aluvial: S.E.V. 7 (11 ohmios x m y 3.4 m de profundidad) y S.E.V. 8 (9 ohmios x m y 3.8 m de profundidad).

Fundamentalmente son materiales limo-arenosos de color negro, no plásticos, con abundante materia orgánica, la mayoría de los cuales pertenecen al Holoceno Superior (VIÑALS, 1991).

- UNIDAD B. Los datos aportados por los sondeos mecánicos indican que se trata de materiales depositados en el ámbito de facies marina y de restinga, presentando un carácter fundamentalmente arenoso con resistividades en torno a los 13-20 ohmios x m (S.E.V. 1 y S.E.V. 2). Sin embargo, las distintas características sedimentarias de los materiales pertenecientes a esta unidad, amplía el rango de variabilidad de resistividad, obteniéndose valores de hasta 70 ohmios

x m (S.E.V. 7).

La profundidad máxima alcanzada en los puntos investigados es de 4.5m, disponiéndose de forma subyacente a la Unidad A.

- UNIDAD C. Desde el punto de vista georresistivo, se trata de una potente y homogénea unidad infrayacente a las anteriores, que presenta un espesor máximo de unos 112 m (S.E.V. 1). Se ha detectado en los niveles III, IV y V del S.E.V. 1; niveles III y IV del S.E.V. 2; nivel II del S.E.V. 5; y niveles II y III del S.E.V. 8. Asimismo, en el grupo de S.E.V. realizados sobre abanicos aluviales, han aparecido estos niveles intercalados con depósitos de elevada resistividad (nivel II del S.E.V. 6 y nivel III del S.E.V. 9). Cabe destacar que en el S.E.V. 5 se ha obtenido un resultado anómalo a partir del nivel II, motivado por la alta salinidad del agua que ha homogeneizado la información resistiva de los distintos materiales.

Los valores de resistividad oscilan entre los 4 ohmios x m (niveles III de los S.E.V. 1 y 2) y los 26 ohmios x m (nivel II del S.E.V. 8), predominando los valores inferiores a 10 ohmios x m. Son materiales fundamentalmente limoarcillosos con algunas intercalaciones arenosas, correspondientes a facies lagunares interdigitadas con depósitos distales de abanico aluvial. Las fracciones granulométricas menores, presumiblemente presentan valores de resistividad comparativamente más bajos en condiciones similares de salinidad del agua.

ABANICOS ALUVIALES (S.E.V. 3-4 paramétricos, S.E.V. 6 y S.E.V. 9).

La relación de sondeos eléctricos emplazados en los principales abanicos aluviales pleistocenos existentes en la cuenca sedimentaria de Pego, ha permitido reconocer sus características en profundidad y determinar el importante contraste resistivo entre las facies proximales y distales de estos depósitos (S.E.V. 6 y S.E.V. 9).

Las profundidades de estos materiales alcanzan los 38 m en el S.E.V. 6 y los 52 a 57 m de los S.E.V. 3-4 y 9 respectivamente, siempre en contacto con las unidades del sustrato.

- UNIDAD D. Se trata de materiales de granulometría gruesa, a veces

fuertemente cementados, que alternan con niveles limoarcillosos. Las resistividades obtenidas se agrupan en tres rangos característicos:

. Los valores más bajos oscilan entre los 12 ohmios x m (S.E.V. 3-4, nivel III) y 26 ohmios x m (S.E.V. 9, nivel II) que corresponden principalmente con paleosuelos, y facies distales de abanicos.

. Los valores intermedios, en torno a los 70 ohmios x m (S.E.V. 6, nivel I), se han obtenido en facies medias de abanico aluvial, por encima del nivel piezométrico, y se caracteriza por albergar materiales fundamentalmente arenosos con intercalaciones de gravas.

. Los valores de resistividad más elevados, que oscilan entre los 170 a 436 ohmios x m (S.E.V. 9, nivel I y S.E.V. 6, nivel III, respectivamente) corresponden a depósitos proximales de abanicos aluviales de granulometría muy gruesa, que normalmente se encuentran fuertemente cementados.

SUSTRATO (S.E.V. 1, S.E.V. 3-4, S.E.V. 5, S.E.V. 6, S.E.V. 8, S.E.V. 9 y S.E.V. test 10).

Dada la extensión de las líneas de emisión de corriente, próxima a los 400 m de distancia A-B, unido a las características resistivas de los materiales, se ha obtenido información relativa a la profundidad del sustrato y su posible litología.

- UNIDAD E. Se trata de materiales calizo-dolomíticos con resistividad muy variable en este área en función de la salinidad del agua existente en el acuífero y el grado de karstificación.

Contrastan los valores obtenidos en el S.E.V. 1 con 122 ohmios x m frente a los 2000 ohmios x m registrados en las presumbibles calizas cretácicas sin karstificar del S.E.V. 3 y 4.

Las profundidades del techo de esta unidad en el sector externo de la cuenca sedimentaria es superior a los 100 m de profundidad (117 m, S.E.V. 1). Este valor es similar al obtenido por sísmica de reflexión en la plataforma marina adyacente por REY y DIAZ DEL RIO (1983). En el sector interno las profundidades oscilan alrededor del medio centenar de metros (52 m, S.E.V. 3 y 4).

- UNIDAD F. Esta unidad corresponde a las margas de edad miocena del

sustrato y no se ha detectado en ningún sondeo mecánico de los hasta ahora realizados en el área.

Las resistividades oscilan entre los 10 ohmios x m del S.E.V. 6 y los 20 ohmios x m del S.E.V. 9 para condiciones por debajo del nivel piezométrico, valores que contrastan con los asumidos para el sustrato calizo-dolomítico de la Unidad E. Sin embargo los niveles poco resistivos de la unidades cuaternarias C y D pueden enmascarar, en función de la salinidad del agua y del grado de alteración de las margas subyacentes, el contacto litológico existente, dado que la prospección eléctrica aporta contactos entre unidades georresistivas condicionados por estos factores.

Las profundidades obtenidas del techo de esta unidad oscilan entre los 38 m del S.E.V. 6 y los más del centenar del S.E.V. 5, que apuntan una cierta semejanza con los rangos obtenidos en la Unidad E.

## VI. CONCLUSIONES

Como consideraciones finales es necesario destacar los siguientes aspectos:

- Desde el punto de vista metodológico, la integración del modelo geológico, el contexto sedimentario y las características hidrogeológicas, unido a los datos geofísicos obtenidos mediante S.E.V., permite obtener resultados de buena fiabilidad, presentando este tipo de técnicas de prospección del subsuelo gran utilidad en estudios del Cuaternario.

- Se han caracterizado los distintos niveles georresistivos, estableciéndose consideraciones acerca de su disposición, características sedimentarias, profundidad, espesor y rangos resistivos.

- Se ha aportado información sobre la configuración del sustrato precuaternario existente en la cuenca sedimentaria de Pego y la disposición de las distintas unidades georresistivas detectadas en profundidad. A partir de estos datos se considera la importante actividad tecto-sedimentaria durante el Cuaternario en la zona.

- Finalmente, la constatación de la presencia y magnitud de un importante desnivel del sustrato entre la zona externa e interna de

la marjal, con una magnitud del orden de los cincuenta metros, sugiere la actuación de fracturas con una dirección en torno al ONO.-ESE., subparalela a la costa, que viene a coincidir con el eje de flexura del óvalo valenciano en este tramo (GOY et al., 1987). Esta línea implica el hundimiento del borde externo a profundidades del orden del centenar de metros.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Matías Ruiz y Carlos Ferrer por su valiosa colaboración en la campaña de campo, y a Fátima Camacho Serna por el mecanografiado del texto.

Este trabajo se integra en un marco de colaboración entre el Area de Ingeniería GeoAmbiental del Instituto Tecnológico GeoMinero de España y el Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia a través de sus proyectos respectivos, I+D en Geología Ambiental y PB89-0524 de la D.G.I.C.Y.T.

#### BIBLIOGRAFIA

ASTIER, J.L. (1973): Programme complementaire de sondages electriques: Regions de Segunto et de Valencia-Alcira. Proyecto de Investigación Hidrogeológica del Bajo y Medio del Júcar. IGME. Madrid, 6 pp. Informe inédito.

BLAKE, H; BONDESAN, A; FAVERO, V; FINZI, Y SALVATORI, S. (1988): Cittanova-Heraclia 1987; Risultati preliminari delle indagini geomorfologiche e paleogeografiche. Quaderni di Archeologia del Veneto, IV. pp. 112-135.

DUPRE, M.; FUMANAL, M.P.; SANJAUME, E.; SANTISTEBAN, C.; USERA, J. y VIÑALS, M. J. (1988): Quaternary evolution of the Pego coastal Lagoon (Southern Valencia, Spain). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 68. pp. 291-299.

GOY, J.L.; REY, J.; DIAZ DEL RIO, V. y ZAZO, Z. (1987): Relación entre las unidades geomorfológicas cuaternarias del litoral y de la plataforma interna-media de Valencia (España): implicaciones paleogeográficas. Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Comunic., Vol. 2, 1369-1381. Valencia.

IGME (1972): Campaña de geofísica resistiva 1972: curvas de los sondeos eléctricos. Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Baja y Media del Júcar. Madrid. Informe inédito. Madrid.

IGME (1975): Campaña de geofísica resistiva (73-74): curvas de sondeos eléctricos. Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Baja y Media del Júcar, Valencia. Informe inédito.

IGME (1981): Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas Media y Baja del Río Júcar. Colección informe: aguas subterráneas. IGME. Madrid, 221 pp.

IGME (1984): Investigación geoelectrica de los acuíferos de la Cuenca Baja y Media del Júcar. Tomos I y II. Madrid, 22 planos y 46 pp. Informe inédito.

PULIDO, A. (1979): Contribución al conocimiento de la hidrogeología del Prebético Nororiental (Provincias de Valencia y Alicante). Memorias del IGME TOMO 95. Servicio del Publ. de Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 410 pp.

REY, J. y DIAZ DEL RIO, V. 1983: Aspectos geológicos, sobre la estructura poco profunda de la plataforma continental del levante español. Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental. Seminario Científico, Cádiz (Castellvi, ed.), 53-74. Gráficas Super. Barcelona.

VIÑALS, M.J.; MATEU, G.; FUMANAL, M.P.; USERA, J. y FAVERO, V. (1989): Aportación al conocimiento de las facies lagunares y litorales de la marjal de Oliva-Pego (Valencia). Cuaternario y geomorfología, 3 (1-2). pp. 93-104.

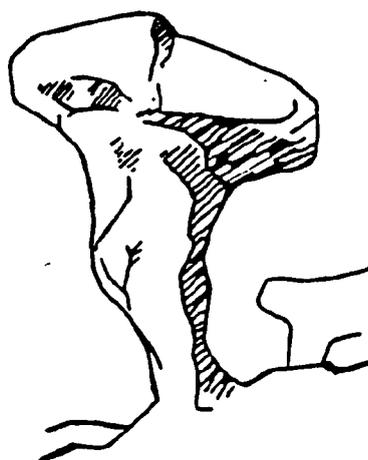
VIÑALS, M<sup>a</sup>. J.; CAMARASA, A.M. y SENDRA, A. (1990): Factores de estabilidad de un humedal costero: la Marjal de Oliva-Pego. I Reunión Nacional de Geomorfología, Teruel, pp.

VIÑALS, M<sup>a</sup>. J. (1991): La marjal de Oliva-Pego. Evolución geomorfológica. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Dpto. Geografía. Universidad de Valencia, 496 pp. Inédito.

JUAN JOSE DURAN VALSERO - JERONIMO LOPEZ MARTINEZ  
(Editores)

# EL KARST EN ESPAÑA

Madrid 23-24 noviembre 1989



MONOGRAFIA N.º 4

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE GEOMORFOLOGIA

**UAM**  
UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE MADRID



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

FEDERACION  
ESPAÑOLA DE  
ESPELEOLOGIA



LOS YACIMIENTOS ARQUEOLOGICOS Y PALEONTOLOGICOS ASOCIADOS A LOS  
DEPOSITOS KARSTICOS CUATERNARIOS EN ESPAÑA.

Hoyos Gómez, M.

Museo Nacional de Ciencias  
Naturales. C.S.I.C. José Gutiérrez  
Abascal, 2. 28006 Madrid.

Jordá Pardo, J.F.

Instituto Tecnológico GeoMinero de  
España. Ríos Rosas 46, 1ª A-B.  
28003 Madrid.

RESUMEN

Se analizan las principales características que presentan los depósitos kársticos asociados a yacimientos paleontológicos y arqueológicos en España, haciendo especial hincapié en las implicaciones paleoclimáticas que de su estudio se derivan.

Palabras clave: Karst, sedimentología kárstica, paleoclimatología, Cuaternario.

ABSTRACT

The main characteristics of the karstic deposits associated to paleontological localities and archeological sites in Spain are studied and analyzed in this paper, with special reference to the paleoclimatic implications derived from this study.

Key words: Karst, karst sedimentology, paleoclimatology, Quaternary.

INTRODUCCION

El interés del estudio sedimentológico de los yacimientos paleontológicos y arqueológicos kársticos reside en que las excavaciones actuales realizadas en ellos permiten disponer de amplios y detallados cortes de los depósitos situados en las zonas externas del karst, precisamente los que en su génesis están directamente relacionados con las condiciones climáticas, permitiendo el análisis sedimentológico preciso de los diferentes niveles y su posterior interpretación climática. A su vez, la sucesión de industrias arqueológicas contenidas en los diferentes niveles, las faunas y las dataciones radiométricas, permiten situar en el tiempo con precisión los diferentes eventos sedimentarios y climáticos que se suceden.

Desde el punto de vista arqueológico, estos análisis permiten, en primer lugar, determinar si la posición de un

determinado nivel o yacimiento es primaria o ha sufrido transformaciones posteriores, con las consiguientes connotaciones para el análisis arqueológico. En segundo lugar permiten evaluar la intensidad de la ocupación y la tasa de transformación antrópica de un nivel de ocupación. En tercer lugar, las correlaciones entre secuencias sedimento-climáticas locales permite precisar, en algunos casos, las relaciones en el tiempo de las industrias arqueológicas contenidas en las mismas. Finalmente, permiten conocer las diferentes condiciones climáticas en las que se desarrolló el hombre prehistórico.

#### DEPOSITOS KARSTICOS Y YACIMIENTOS PALEONTOLOGICOS Y ARQUEOLOGICOS

Dado que el medio kárstico está generado fundamentalmente por actividad hídrica, los conductos y cavidades que lo forman se comportan como un medio sedimentario más, de forma que en su interior suelen aparecer depósitos que presentan una gran variedad de facies. Dentro de estos depósitos, debido a las características del propio medio sedimentario, tanto deposicionales como fisico-químicas, y a la actividad de ciertos vertebrados y del hombre prehistórico, es frecuente encontrar restos paleontológicos y arqueológicos.

Los yacimientos paleontológicos aparecen asociados a cualquier tipo de depósitos kársticos, tanto externos como internos, y dentro de ellos a cualquier tipo de facies. Por el contrario, los yacimientos arqueológicos de carácter primario son más restringidos, y suelen aparecer, debido a la propia actividad del hombre, tanto ligados a las formas externas del karst, como abrigos, cantiles y bordes de dolinas, como asociados a las formas internas de las cavidades, que en general corresponden a las denominadas "cuevas". No obstante, tanto en el caso de yacimientos arqueológicos como paleontológicos, estos pueden

aparecer en posición desplazada en cualquier zona del interior del karst, constituyendo yacimientos secundarios, formados a expensas del desmantelamiento y transporte de yacimientos primarios.

Los yacimientos paleontológicos y arqueológicos desde el punto de vista de la cronología presentan un gran interés dado que en general permiten datar muchas secuencias sedimentarias kársticas en función de análisis paleontológicos y arqueológicos. En España los yacimientos paleontológicos y arqueológicos comprenden un rango temporal distinto, existiendo yacimientos paleontológicos kársticos pre-Cuaternarios, por lo que comprenden prácticamente desde el Pleistoceno Inferior hasta el Holoceno, mientras que los arqueológicos comienzan hasta el momento en el Pleistoceno Medio, cubriendo este, el Pleistoceno Superior y el Holoceno.

#### YACIMIENTOS KARSTICOS, PROCESOS SEDIMENTARIOS Y CLIMA

Son varios los factores que condicionan la sedimentación en el medio kárstico: la estructura geológica, la litología, la situación geomorfológica relativa y el clima. Pero sin duda es este último, el clima, el factor condicionante fundamental en la génesis, desarrollo y evolución de los depósitos situados en las zonas externas del karst. En estas zonas predominan las formas abiertas, como abrigos, dolinas, restos de antiguas formas internas y entradas a cavidades (cuevas, cavernas), donde la influencia climática directa se deja sentir al menos hasta los primeros veinte metros o incluso más hacia el interior.

Dado que la mayoría de los yacimientos arqueológicos y gran parte de los paleontológicos se encuentran situados, como ya hemos visto, en las zonas externas del karst, los depósitos que

los componen han sufrido una clara influencia climática en su génesis, transporte, sedimentación y transformaciones postdeposicionales, por lo que los estudios detallados de estos yacimientos permiten elaborar secuencias sedimentarias para cada uno de ellos, que a su vez son susceptibles de interpretarse como secuencias paleoclimáticas relativas correlacionables entre sí, obteniéndose interpretaciones paleoclimáticas.

Combinando las dos variables fundamentales que definen un clima, temperatura y humedad, podemos separar cuatro tipos fundamentales de climas, si bien existen todas las formas intermedias posibles: frío húmedo, frío seco, cálido húmedo y cálido seco. En cada uno de estos tipos climáticos básicos se daran unos procesos sedimentarios diferentes tanto en la génesis de los sedimentos, en su transporte y sedimentación, como en la posterior alteración. Dentro de estos procesos existen algunos que pueden considerarse como exclusivos de un determinado clima y constituyen los llamados indicadores paleoclimáticos, mientras que por el contrario, también existen una serie de procesos que pueden originarse con climas diferentes, y otros de carácter mixto, originados en condiciones climáticas intermedias.

Es necesario señalar que el tipo de procesos sedimentarios que se dan en las zonas externas del karst para un mismo clima depende en gran medida de la posición geomorfológica del yacimiento en el conjunto del karst, ya que los diferentes mecanismos que conducen a la génesis y posterior evolución de los depósitos variaran en función de que se trate de una zona muerta, senil o viva del karst. O lo que es lo mismo, bajo las mismas condiciones climáticas se pueden dar diferentes procesos sedimentarios en zonas distintas del karst en función de la situación geomorfológica relativa dentro de dichas zonas. Tambien son condicionantes de los procesos para un mismo clima

las características litológicas de la roca en que se desarrolla el karst (caliza, dolomía, yesos) y la estructura de esta (estratificación, fracturación, plegamiento, redes de diaclasas, etc). Por tanto dos indicadores paleoclimáticos distintos pueden ser equivalentes al encontrarlos en zonas diferentes del karst, por lo que pueden ser correlacionables entre sí.

Los principales procesos genéticos, sedimentarios y postdeposicionales que se dan en los diferentes climas propuestos, separándolos en dos grupos en función de la temperatura, considerando la humedad como segunda variable:

- Climas fríos con diferente grado de humedad: la gelivación, la soliflucción, la arroyada difusa, la disolución, la acción eólica, la gelivación secundaria y la crioturbación.

- Climas templados y cálidos con diferentes grados de humedad: las coladas de barro, el coluvionamiento, la acción fluvial, los movimientos verticales, la formación de cortezas estalagmíticas, la generación de suelos de alteración y la formación de concreciones calcáreas.

En los yacimientos arqueológicos es preciso tener en cuenta las modificaciones introducidas en los sedimentos por la presencia humana, que generalmente se traducen en alteraciones debidas fundamentalmente a: aportes de materiales alóctonos y extraños al yacimiento, compactación, deformación interna y modificación de la superficie de los depósitos, incorporación de restos animales y vegetales, instalación de fuegos que conducen a la rubefacción de los sedimentos y a la génesis de importantes niveles de acumulación de materia orgánica carbonizada, etc. Todas estas modificaciones de las condiciones naturales de los depósitos enmascaran en algunos casos los procesos originales.

## LAS SECUENCIAS PALEOCLIMATICAS

Una vez realizado el estudio sedimentológico de las diferentes secuencias litoestratigráficas que puedan observarse en un yacimiento, y en función de los diferentes indicadores paleoclimáticos, se obtiene una secuencia paleoclimática relativa y local compuesta por una serie de sucesos climáticos en los que se determinan sus máximos y sus mínimos en función de la intensidad de los procesos detectados, por comparación entre sí y en relación a unas condiciones de referencia determinadas, obtenidas por dataciones paleontológicas, arqueológicas o radiométricas que permitenn situarlos en el tiempo.

Una vez obtenidas varias secuencias paleoclimáticas locales dentro de un mismo ámbito geográfico, se puede establecer su correlación en base a la amplitud y características de cada etapa climática detectada y a la posición relativa de los diferentes máximos y mínimos. La correlación de varias secuencias locales permite definir una secuencia paleoclimática regional, en la que se marcarán diferentes fases climáticas.

No obstante, es preciso tener en cuenta que las secuencias obtenidas en dos yacimientos próximos en un mismo sistema kárstico o en varios diferentes no tienen que presentar los mismos procesos sedimentarios, y en el caso de que sean los mismos no aparecen necesariamente con la misma intensidad. También es necesario a la hora de efectuar correlaciones, valorar la velocidad de sedimentación en cada punto.

### ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LAS SECUENCIAS PALEOCLIMATICAS KARSTICAS EN ESPAÑA

Para poder establecer una seriación paleoclimática en el territorio que ocupa España es necesario dividir esta en varios dominios, que en muchos casos coinciden con los de la España

Calcareas de Hernandez Pacheco. Las principales zonas geográficas en donde se han realizado estudios se ciñen a las áreas calcáreas con mayor profusión de yacimientos, y si bien la amplitud y complejidad de los trabajos efectuados y de los resultados obtenidos son claramente diferentes en función del número de estudios realizados, se pueden considerar las siguientes regiones como zonas potenciales para el establecimiento de secuencias paleoclimáticas regionales en el contexto general de España:

- Región Cantábrica: Es la zona tradicional de estudios paleoclimáticos, en donde existe una secuencia establecida por HOYOS (1981), con aportaciones de LAVILLE (LAVILLE y HOYOS, 1981; FORTEA et al., 1987)) que cubre fundamentalmente el Pleistoceno Superior y la parte final del Pleistoceno Medio.

- Mediterráneo Oriental: Ha sido estudiado más recientemente por FUMANAL (1986), la cual ha obtenido una secuencia que cubre prácticamente desde el final del Pleistoceno Medio hasta el Holoceno incluido.

- Mediterráneo meridional: Hasta el momento se han obtenido secuencias locales que cubren parte del Pleistoceno Superior y del Holoceno (JORDA, 1986, JORDA y CARRAL, 1988) y el final del Pleistoceno Medio y Pleistoceno Superior (HOYOS, 1988).

- Mesetas y Cordillera Ibérica: Los estudios se ciñen casi exclusivamente al Pleistoceno Inferior y Medio de la Cueva de Atapuerca (AGUIRRE et al., eds., 1987).

- Pirineos: Hasta el momento no se han obtenido secuencias regionales, si bien se están iniciando estudios en determinados yacimientos.

En cuanto a la cronología, como hemos esbozado en los

párrafos anteriores, los conocimientos que se tienen sobre la paleoclimatología de los yacimientos kársticos del Pleistoceno Inferior español son muy escasos, existiendo información de tipo puntual y aislada que no permite establecer secuencias regionales. En este ámbito son de gran interés los trabajos que se realizan en los yacimientos de Atapuerca, donde las secuencias sedimentarias se inician en el Pleistoceno Inferior alto y continúan en el Pleistoceno Medio y Superior (AGUIRRE et al., eds., 1987).

El Pleistoceno Medio también está cubierto de manera parcial con los estudios realizados en Atapuerca junto con los que actualmente se llevan a cabo en la Cueva del Castillo, en sus niveles inferiores. Más información nos ofrecen los niveles inferiores de Cova Negra (FUMANAL, 1986) y de la Cueva de la Carigüela recientemente estudiada (VEGA et al., 1988).

Pero es el Pleistoceno Superior el período cronológico del que se tienen mayor número de datos paleoclimáticos que permiten el establecimiento de secuencias regionales. Como veíamos anteriormente, la Cornisa Cantábrica y el Mediterráneo Oriental constituyen los núcleos en donde se han podido establecer secuencias regionales, mientras que en el Mediterráneo Meridional, las secuencias son hasta el momento locales. En los dos primeros casos se han podido diferenciar claramente una serie de fases climáticas a partir del estudio de más de una veintena de yacimientos en la Cornisa Cantábrica y de una decena en la zona mediterránea oriental. No obstante uno de los problemas que quedan pendientes es la correlación entre sí de dichas secuencias, teniendo en cuenta los condicionamientos geográficos existentes y la limitación de las mismas impuesta por las propias excavaciones arqueológicas. También supone un

problema el desfase sistemático entre las secuencias polínicas y sedimentológicas (HOYOS, 1979), en parte debido a una respuesta más rápida del medio físico a los cambios climáticos, frente a la de la cobertera vegetal.

En cuanto al Holoceno, se han obtenido secuencias paleoclimáticas kársticas regionales en el Mediterráneo Oriental, y locales en la zona mediterránea meridional.

#### REFERENCIAS

- AGUIRRE, E., Carbonell, E. y Bermudez de Castro, J.M. (1987), "El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca, I", Junta de Castilla y León, 439 pp.
- FORTEA, J., CORCHON, M.S., GONZALEZ MORALES, A., RODRIGUEZ ASENSIO, A., HOYOS, M., LAVILLE, H. Y FERNANDEZ TRESGUERRES, J. (1987), "Trabajos recientes en los valles del Nalón y del Sella", Pre-Actes del Colloque International d'Art Mobilier Paleolithique, Ministère de la Culture et de la Communication, pp. 191-235, Foix - Le Mas d'Azil.
- FUMANAL, M.P. (1979), "Estudio sedimentológico de la Cueva de la Cocina. Dos Aguas, Valencia", Cuadernos de Geografía, 24, pp. 79-98, Valencia.
- FUMANAL, M.P. (1982), "La cova de Les Calaveres. Estudio sedimentológico", Trabajos Varios del S.I.P., nº 75, pp. 49-76, Valencia.
- FUMANAL, M.P. (1983), "Informe preliminar sobre el estudio sedimentológico de la Cova de l'Or, Sector K", Noticiario Arqueológico Hispánico, nº 16.
- FUMANAL, M.P. (1986), "Sedimentología y clima en el País Valenciano. Las cuevas habitadas en el Cuaternario reciente", Trabajos varios del S.I.P., nº 83, 208 pp., Valencia.
- HOYOS GOMEZ, M. (1979), "El karst de Asturias en el Pleistoceno superior y Holoceno", Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- HOYOS GOMEZ, M. (1980), "Estudio geológico y sedimentológico de la Cueva de la Paloma (Soto de las Regueras, Asturias), Excavaciones Arqueológicas en España, 116, Ministerio de Cultura, pp. 23-63, Madrid.
- HOYOS GOMEZ, M. (1981,a), "Estudio geológico y sedimentológico de la Cueva de Las Caldas", en M.S. Corchón, "Cueva de Las Caldas, San Juan de Priors (Oviedo)", Excavaciones Arqueológicas en España, 115, Ministerio de Cultura, pp. 10-55, Madrid.

- HOYOS GOMEZ, M. (1981,b), "La cronología paleoclimática del Würm reciente en Asturias. Diferencias entre los resultados sedimentológicos y palinológicos", Programa Internacional de Correlación Geológica, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, pp. 63-75, Madrid.
- HOYOS GOMEZ, M. (1984), "Contribución de la sedimentología a la reconstrucción paleoclimática del Pleistoceno", V Reunión de Paleolitistas Españoles, Peñíscola, mayo 1984, Diputación Provincial de Castellón, 21 folios mecanografiados.
- HOYOS GOMEZ, M. y FUMANAL, M.P. (1985), "La Cueva de Erralla. Estudio sedimentológico", MUNIBE, 37, pp. 29-43, San Sebastián.
- JORDA PARDO, J.F. (1986), "Estratigrafía y sedimentología de la Cueva de Nerja (Salasde la Mina y del Vestíbulo)", en "La Prehistoria de la Cueva de Nerja (Málaga)", Trabajos sobre la Cueva de Nerja, nº 1, pp. 39-97, Málaga.
- JORDA PARDO, J.F. y CARRAL, P. (1988), "Geología y Estratigrafía del yacimiento prehistórico de la Cueva de Ambrosio (Vélez Blanco, Almería)", en Ripoll López, S., "La Cueva de Ambrosio (Almería, Spain) y su posición cronoestratigráfica en el Mediterráneo Occidental", Brithis Achaeological Reports, International Series; 462, pp. 19-40.
- LAVILLE, H. Y HOYOS GOMEZ, M. (1981), "Estudio geológico de la Cueva de Rascaño", en "El Paleolítico Superior de la Cueva del Rascaño (Santander)", Monografías del Centro de Investigaciones Prehistóricas de Altamira, pp. 189-210, Santander.
- VEGA TOSCANO, G., HOYOS GOMEZ, M., RUIZ BUSTOS, A. y LAVILLE, H. (1988), "La sécanse de la Grotte de La Carigüela (Piñar, Grenade): Cronoestratigraphie et Paléoécologie du Pléistocène Supérieur au Sud de la Péninsule Ibérique", L'Homme de Néandertal, vol. II, L'Environnement, pp. 169-180, Liège.

# El medio geológico y su explotación en el Castro de San Chuis (Allande, Asturias).

Por J. F. JORDA PARDO

## RESUMEN

El Castro de San Chuis es un típico poblado castreño (protohistórico y romano) situado en el extremo occidental de la provincia de Asturias. El sustrato geológico sobre el que se encuentra asentado corresponde a pizarras, areniscas y «porfiroides», que aparecen entre los materiales geológicos utilizados en el poblado, junto con granitos procedentes de un afloramiento cercano, y cantos de río. El análisis geoarqueológico de los materiales presentes en el mismo ha permitido efectuar una serie de observaciones en relación a la explotación del medio geológico por parte de las comunidades que lo habitaron.

*Palabras clave:* Geoarqueología, Medio Geológico, Explotación, Castro, Protohistoria, Asturias.

## ABSTRACT

The Castro of San Chuis is a characteristic village of the Iron Age and Roman Epoch, placed in the west Asturias (N of Spain). This village is situated over a geologic substratum formed by shales, sandstones and acid volcanic rocks. This rocks appeared in the structures of the village, with granite of a near outcrop and fluvial pebbles. The geoarchaeological analysis of the rocks presents in the village, permit to effect several observations related with the exploitation of the geological environment for the inhabitants of the village.

*Key words:* Geoarchaeology, Geologic environment, Exploitation, Castro, Protohistory, Asturias.

## 1. INTRODUCCION

El Castro de San Chuis fue descubierto al comienzo de la década de los 60 por el Sr. Lombardía, paisano del lugar, quien comunicó el hallazgo al Excmo. Ayuntamiento de Pola de Allande, el cual transmitió la noticia al Servicio de Excavaciones Arqueológicas de la Excma. Diputación Provincial de Asturias. El 23 de agosto de 1962 dieron comienzo los trabajos de la primera campaña de excavaciones arqueológicas bajo la dirección del Dr. Francisco Jordá Cerdá, Jefe del citado Servicio, y de D. Elías García Domínguez, quienes procedieron a la limpieza y deforestación del poblado, a la vez que efectuaron las primeras catas. Las excavaciones prosiguieron con una segunda campaña en agosto de 1963, que permitió documentar el poblado en una mayor extensión. En estos trabajos se sacaron a la luz restos de estructuras circulares y cuadrangula-

res en el sector NE del poblado, así como el ángulo de la muralla en ese mismo sector, apareciendo hacia el flanco S una puerta completa.

En 1979 se reanudaron las excavaciones sistemáticas, autorizadas y subvencionadas en una primera etapa por el Ministerio de Cultura, y posteriormente por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Principado de Asturias, bajo la dirección del profesor de la Universidad de Salamanca Dr. Francisco Jordá Cerdá, realizándose hasta la actualidad un total de siete campañas, que se centraron en la ampliación de la antigua excavación hacia el S y O del poblado, cuyos resultados han sido recientemente publicados en una nota preliminar (JORDA CERDA et al., 1989).

## 2. METODOLOGIA

Desde 1984 venimos realizando una serie de investigaciones dentro del campo de la Geoarqueología, tendentes a desarrollar una hipótesis de

(\*) Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 46. 28003 Madrid.

trabajo que básicamente se articula en torno a la posibilidad de que exista una clara relación entre el medio geológico y las formas de hábitat en las comunidades castreñas del occidente asturiano (CARROCERA y JORDA, 1984). Para verificar esta hipótesis escogimos una serie de yacimientos castreños (siglos I a IV d. C.) en las cuencas baja y media del río Navia y en la alta del río Narcea, si bien la metodología de trabajo utilizada es válida para cualquier etapa de la Prehistoria y de la Protohistoria desarrollada en un área geográfica concreta.

Como punto de partida, realizamos un análisis bibliográfico en una doble vertiente. Por un lado estudiamos los trabajos recientes en los que se desarrollan metodologías similares a la nuestra, aplicadas a las culturas megalíticas de Galicia (VIDAL ROMANI y VAZQUEZ VARELA, 1979; BELLLO DIEGUEZ et al., 1982; VAZQUEZ VARELA et al., 1983) y de Asturias (BLAS CORTINA, 1983, 1984) y castreña de Galicia (VAZQUEZ VARELA y VIDAL ROMANI, 1975; VIDAL ROMANI y VAZQUEZ VARELA, 1979; VAZQUEZ VARELA, 1983) y del occidente leonés (SANCHEZ-PALENCIA, 1979, 1983) y zamorano (ESPARZA ARROYO, 1984, 1987).

Por otro lado, revisamos la bibliografía existente sobre los yacimientos considerados (GARCIA BELLIDO y URIA RIU, 1940; GARCIA BELLIDO, 1941, 1942a, b, c; FERNANDEZ BUELTA, 1949; MARTINEZ FERNANDEZ y JUNCEDA AVELLO, 1969; JORDA CERDA, 1983; MAYA, 1984, 1989; CARROCE-RA FERNANDEZ, 1988), cuyas aportaciones consideramos esenciales dado que algunos de los castros fueron excavados hace más de 40, y su estado de conservación actual impide realizar observaciones básicas.

Simultáneamente llevamos a cabo un estudio exhaustivo de las cartografías topográficas y geológica existentes para la zona a diferentes escalas (MARCOS y PULGAR, 1980; MARCOS, PULGAR y MARTINEZ, 1980; MARCOS et al., 1980; IGME, 1981), de la fotografía aérea y de la bibliografía geológica, con objeto de conocer la geología de la región en donde se encuentran los yacimientos seleccionados.

Con posterioridad desarrollamos el trabajo de campo, para lo cual visitamos los yacimientos, analizándolos bajo una doble perspectiva: la ar-

queológica, efectuando un reconocimiento sistemático de cada uno de los castros y excavando en algunos, y la geológica. En el estudio geológico abordamos tres aspectos: estudio de las rocas del sustrato en los castros y sus proximidades, descripción de los materiales geológicos empleados en los poblados, y prospección sistemática de las zonas en que se enclavan los yacimientos.

Además, efectuamos muestreos, tanto de los materiales constructivos y del sustrato, como de los cortes estratigráficos proporcionados por las excavaciones arqueológicas. Con las muestras rocosas llevamos a cabo un estudio petrográfico, con objeto de identificar las litologías y así poder localizar la procedencia del material utilizado.

Una vez efectuados los trabajos anteriores, procedimos a analizar los datos obtenidos, estudiando los emplazamientos de los poblados, el medio geológico y la geomorfología, y los diferentes hábitats antrópicos, para finalmente interrelacionar todo ello, pudiendo constatar tres aspectos fundamentales relativos a la explotación del medio geológico por las comunidades castreñas: tipos de aprovechamiento del medio geológico, procedencia de las materias primas rocosas y radio de acción, y modos de extracción del material rocoso y técnicas de cantería.

Para finalizar, y como consecuencia directa de lo anterior, pudimos verificar nuestra hipótesis de trabajo inicial, estableciendo la existencia de un modelo de interrelación entre los diferentes asentamientos y de un cierto conocimiento del medio geológico por las comunidades castreñas.

Siguiendo las anteriores premisas, a continuación expondremos los resultados de nuestras investigaciones geoarqueológicas llevadas a cabo en el Castro de San Chuis (Allande, Asturias), yacimiento que se muestra como un buen ejemplo a la hora de la contrastación y verificación de la hipótesis de partida.

### 3. ENTORNO GEOGRAFICO Y MEDIO GEOLOGICO

#### 3.1. Situación y entorno geográfico

El Castro de San Chuis se encuentra situado en

las inmediaciones de San Martín de Beduledo, Parroquia de Santa María de Celón, localidades del concejo asturiano de Allande (fig. 1). Sus coordenadas geográficas son  $6^{\circ} 35' 20''$  (G. D. E.) de longitud O y  $43^{\circ} 13' 23''$  de latitud N, dentro de la Hoja núm. 50 (Cangas de Narcea) del Mapa

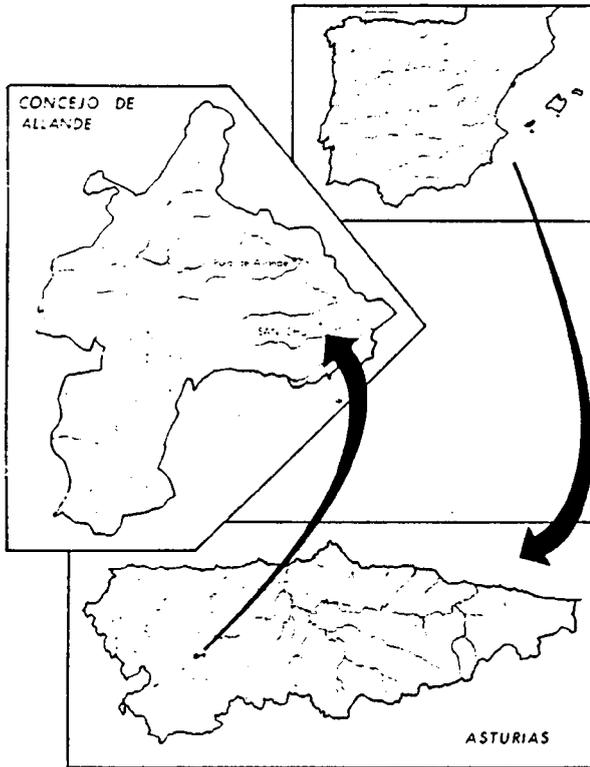


Figura 1.—Situación geográfica del Castro de San Chuis.



Foto 1.—Vista general del emplazamiento del Castro de San Chuis.

Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Su altitud sobre el nivel del mar varía entre 760 y 792 m., desde sus zonas bajas a la cota máxima, y su distancia a la costa en línea recta es de 35 km. Ocupa una extensión de unos 37.000 metros cuadrados, con una forma subcircular con tendencia ovalada, presentando el eje mayor una dirección N-S.

Está enclavado en el pico más alto de un estrecho cordal de dirección N-S (foto 1), que separa los cursos de los ríos Abaniellas, Prada y de la Pola, en la vertiente izquierda de la cuenca del río Narcea, del que dista 6 km. en línea recta. Este cordal pertenece al sistema orográfico de las Sierras del Valledor y de los Lagos, a través de las cuales se asciende al Puerto de El Palo, en la divisoria con la cuenca del Navia.

El dominio óptico del Castro es excelente, dividiéndose desde él los puertos de montaña que comunican la cuenca del Narcea con la del Nalón (Puerto de la Espina), del Duero (Puerto de Leitariegos), del Navia (Puerto de El Palo) y del Cantábrico (Puerto de Lavadoira).

### 3.2. Geología local

Geológicamente, el Castro de San Chuis se encuentra ubicado en la denominada zona Astur Occidental Leonesa (JULIVERT et al., 1972), del Macizo Hespérico, y dentro de ésta, en su unidad más oriental o de Cangas del Narcea (MARTINEZ GARCIA, 1981), que para otros autores constituye el dominio del Navia y Alto Sil (MAR-

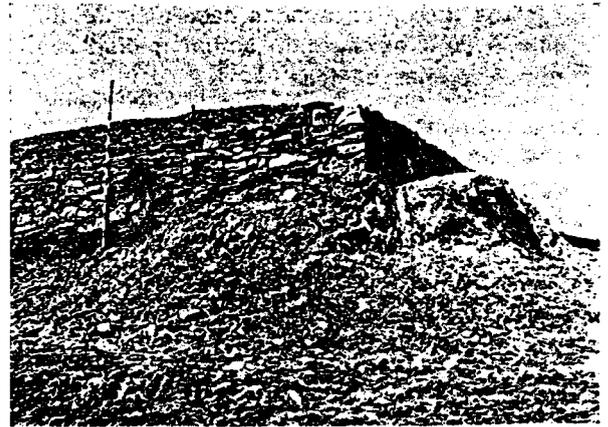
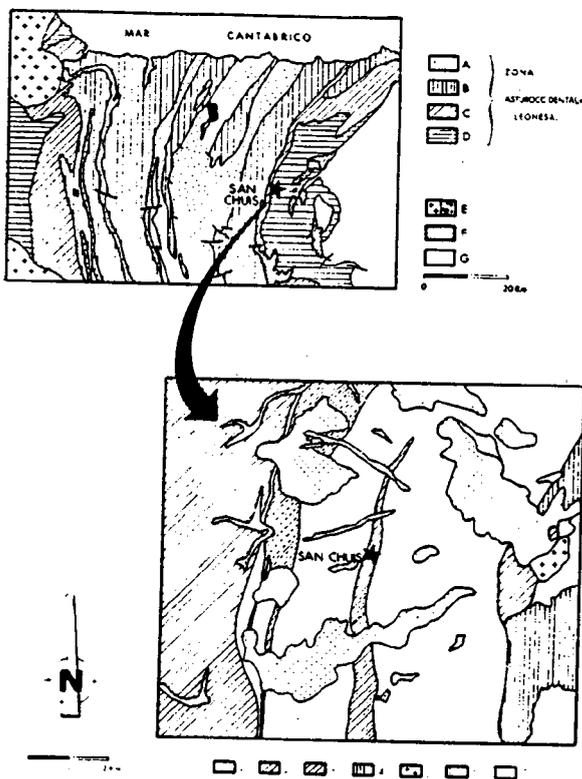


Foto 2.—Sustrato rocoso sobre el que se asienta el Castro en un ángulo de la muralla.

COS, 1973). Concretamente, el Castro se asienta sobre la formación Pizarras del Narcea (foto 2) (MARCOS et al., 1980a; IGME, 1981; ZAMARREÑO, 1983), también denominada formación Cándana (MARTINEZ GARCIA, 1981), cuya edad abarca desde el Precámbrico Superior hasta el Cámbrico Inferior (figura 2). Esta formación es una

Cabos (Cámbrico Medio - Ordovícico Inferior), Pizarras de Luarca (Ordovícico Inferior) y Pizarras de Agüeira (Ordovícico Superior) (MARTINEZ GARCIA, 1981). Todos estos materiales fueron deformados en el Devónico o Carbonífero, originándose pliegues inclinados, cabalgamientos y pliegues verticales asociados a intrusiones de pequeñas masas graníticas, produciéndose a continuación la sedimentación del Carbonífero Superior en cuencas limitadas por fallas con acumulaciones de carbón, y finalmente una distensión en el Pérmico (MARTINEZ GARCIA, 1981).



En la zona del Castro, los materiales se componen de unas pizarras y areniscas con intercalaciones de «porfiroides» de espesor variable (formación Cándana o Pizarras del Narcea), y es sobre uno de estos niveles de materiales más duros, que producen un cierto relieve, donde se encuentra enclavado el yacimiento castreño. Son unas areniscas leucocráticas de grano medio a fino con cristales de cuarzo y feldespato, de origen vulcanosedimentario. En el monte del castro estos materiales alternan con pizarras grises, que en superficie están alteradas.

Otros materiales geológicos próximos al Castro son los conglomerados del Carbonífero y el granito de Linares, que es un emplazamiento plutónico de origen postectónico, constituido por un granito calcoalcalino con textura granular y porfídica (SUAREZ, 1971; MARCOS et al., 1980). También afloran, culminando algunos relieves cercanos al castro, depósitos detríticos terciarios. En la cartografía geológica (MARCOS et al., 1980) aparecen materiales terciarios en las cumbres de la sierra del castro, pero, al menos, en el extremo E de dicha sierra, estos materiales no afloran, pudiendo haber sido confundido el perímetro defensivo del poblado con un contacto entre diferentes materiales.

Desde el punto de vista del relieve, el Castro está situado en el Macizo de Allande (MARTINEZ GARCIA, 1981), constituido en su zona oriental por la unidad de Cangas del Narcea, y estructurado mediante una serie de sierras paralelas, muchas de las cuales presentan sus cumbres niveladas por una superficie de arrasamiento terciaria, apareciendo en algunos casos materiales detríticos terciarios fosilizando la citada superficie (MARTINEZ GARCIA, 1981).

Figura 2.—Situación geológica regional y local del Castro de San Chuis (A, Ordovícico Medio-Superior y Silúrico; B, Cámbrico Medio-Ordovícico Inferior; C, Cámbrico Inferior; D, Cámbrico Inferior y Precámbrico Superior; E, Granitos; F, Carbonífero Superior; G, Paleozoico indiferenciado de la Zona Cantábrica; 1, Pizarras y areniscas del Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior; 2, «Porfiroides»; 3, Paleozoico Inferior indiferenciado; 4, Carbonífero Superior; 5, Granito de Linares; 6, Terciario; 7, Cuaternario).

serie sedimentaria de 2.000 m. de espesor, constituida mayoritariamente por pizarras y areniscas con niveles de rocas volcánicas ácidas («porfiroides»), que hacia la parte superior pasan a areniscas predominantes con intercalaciones pizarras y con algunos niveles de dolomías. La serie estratigráfica continúa con las formaciones Calizas de Vegadeo (Cámbrico Inferior-Medio), areniscas, pizarras y cuarcitas de la Serie de los

Geomorfológicamente, el Castro ocupa el vértice de un pico troncocónico situado casi en el extremo de una pequeña sierra de cumbres planas, que se encuentra en un bloque delimitado por fracturas de dirección N 70° E. Hacia el O el relieve adquiere gran altura, alcanzando cotas superiores a los 1.000 m., apreciándose sobre los 850 m. un brusco cambio de pendiente.

Entre los materiales geológicos encontrados en el Castro señalaremos la presencia abundante de lajas de pizarra y menos numerosa de bloques de arenisca y «porfiroide» de la formación Cándana o Pizarras del Narcea, apareciendo en menor medida fragmentos de cuarzo filoniano autóctono, bloques de granito del plutón de Linares, y cantos rodados cuarcíticos de origen fluvial, aportados por el hombre.

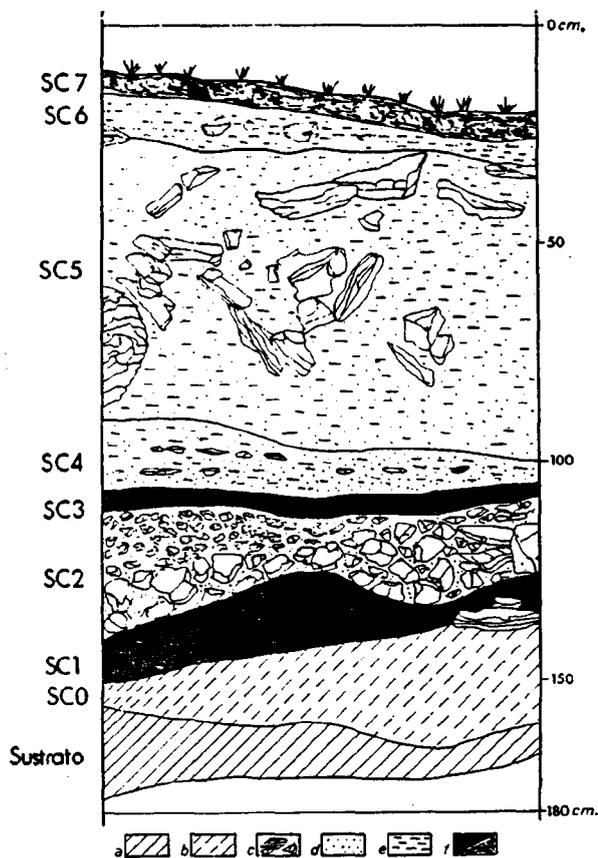


Figura 3.—Columna estratigráfica del Castro de San Chuis (a, pizarras; b, pizarras alteradas y arcillas de alteración; c, cantos y bloques; d, arenas; e, limos y arcillas; f, materia orgánica).

### 3.3. Estratigrafía

La columna estratigráfica del Castro de San Chuis obtenida en la zona de mayor espesor de sedimentos del poblado, en el interior de una estructura arquitectónica, ofrece los siguientes niveles de abajo a arriba (fig. 3, foto 3):

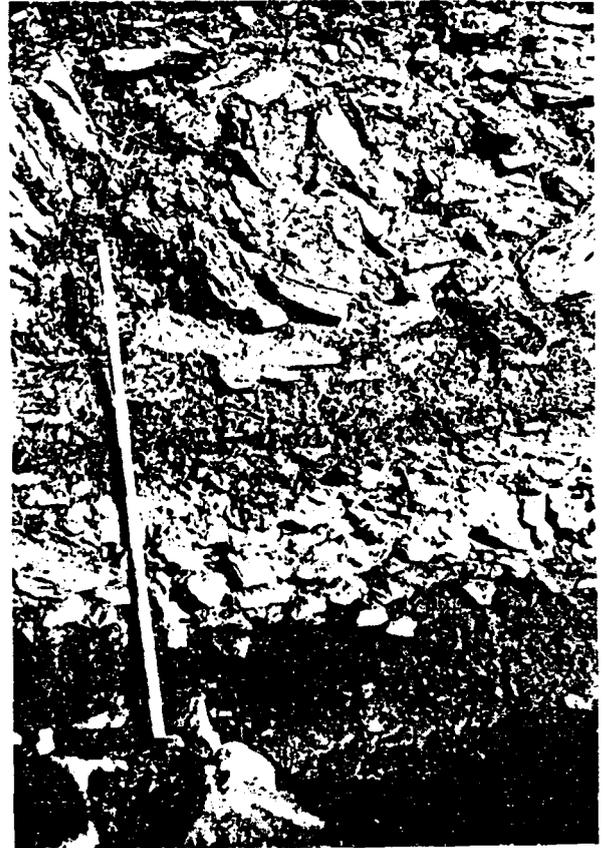


Foto 3.—Corte estratigráfico en el interior de una estructura circular, posteriormente remodelada a cuadrangular.

- Sustrato. Pizarras grises alteradas y sometidas a un acondicionamiento antrópico con fines infraestructurales.
- SC. 0. Arcillas moradas (10 a 20 cm. de potencia), con fragmentos de pizarra, producto de la alteración del sustrato pizarroso.
- SC. 1. Arcillas de color marrón oscuro a negro con abundante materia orgánica y restos arqueológicos (10 a 20 cm.). Corresponde al nivel arqueológico VI, que contiene escasos restos de cerámicas indígenas y algún pequeño objeto de bronce.

- SC. 2. Cantos de pizarra de aporte antrópico que forman un sistema de drenaje con una matriz arenoso-limosa de color amarillo (15 a 30 cm.). Corresponde al nivel V de la estratigrafía arqueológica.
- SC. 3. Arcillas grises y negras (5 cm.), muy compactadas, con abundante materia orgánica, que alternan en finos nivelillos con arcillas rojas rubefactadas que constituyen un suelo o pavimento. Son ricas en materiales arqueológicos, fundamentalmente cerámicas indígenas y de importación y objetos de hierro. Corresponden al nivel arqueológico IV.
- SC. 4. Arenas y limos arcillosos de color amarillo (5 a 15 cm.), con restos arqueológicos dispersos.
- SC. 5. Limos arcillosos y arenosos de color amarillo (70 cm. de potencia), con abundantes cantos y bloques de pizarra procedentes de los derrumbes de las estructuras pétreas antrópicas. Al igual que el anterior contiene restos arqueológicos dispersos, y junto con él constituye el nivel arqueológico III.
- SC. 6. Arcillas limosas de color gris oscuro a negro con cantos dispersos y materia orgánica (10 cm.). Corresponde al nivel arqueológico II, que contiene escasos restos cerámicos.
- SC. 7. Suelo vegetal, de color negro, muy rico en materia orgánica, con limos y arcillas (5-10 cm.). Corresponde al nivel I de la estratigrafía arqueológica.

Esta secuencia estratigráfica permite constatar que los materiales que componen el relleno sedimentario del Castro son predominantemente de aporte antrópico, a excepción del nivel basal de alteración y del nivel edáfico superior. Los materiales gruesos corresponden a rellenos infraestructurales (SC. 2) o a derrumbes de muros de estructuras (SC. 5), mientras que los finos proceden de la desintegración de aquéllos y de la argamasa que los unía (SC. 4 y SC. 5), y en algunos casos responden a estructuras de acondicionamiento del piso, como el pavimento de arcillas rubefactadas que parcialmente constituye el nivel SC. 3. Este mismo nivel contiene otros materiales de origen antrópico, originados por acumulación de cenizas producto de combustión de materia orgánica.

Desde el punto de vista cronológico, utilizando elementos arqueológicos como referencia, podemos situar los diferentes niveles en contextos concretos (MANZANO HERNANDEZ, 1985). Así, el nivel SC. 1 es anterior a la ocupación romana, correspondiendo a una etapa de poblamiento indígena del Castro, mientras que el nivel SC. 3 se sitúa hacia la mitad del siglo I de nuestra era, ya con una intensa ocupación romana, y el SC. 5 lo hace hacia la mitad del siglo II. El nivel SC. 6, ya más tardío, se situaría entre los siglos III y IV de nuestra era, en un momento tardorromano.

#### 4. HABITAT

El Castro, de forma triangular, aparece ocupando el extremo de una pequeña sierra, por lo que sus defensas naturales son óptimas. Así, las vertientes NE y O muestran una fuerte pendiente, que unida al conjunto de tres fosos, hacen inaccesibles dichos sectores. El flanco S, unión del pico con el resto de la sierra, presenta una mayor accesibilidad, por lo que está protegido por un sistema de cinco fosos antecidos por parapetos (fig. 4, foto 4).

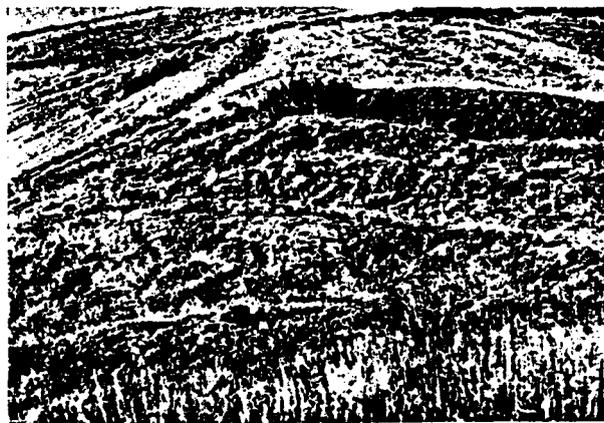


Foto 4.—Fosos y parapetos excavados en las defensas del Castro.

El perímetro del Castro se encuentra rodeado por una muralla (fig. 5) de unos 3 m. de anchura y altura variable que en algunos puntos alcanza los 3 m. Está construida en piedra seca mediante la técnica de yuxtaposición de módulos, localizándose en el sector E una puerta de com-

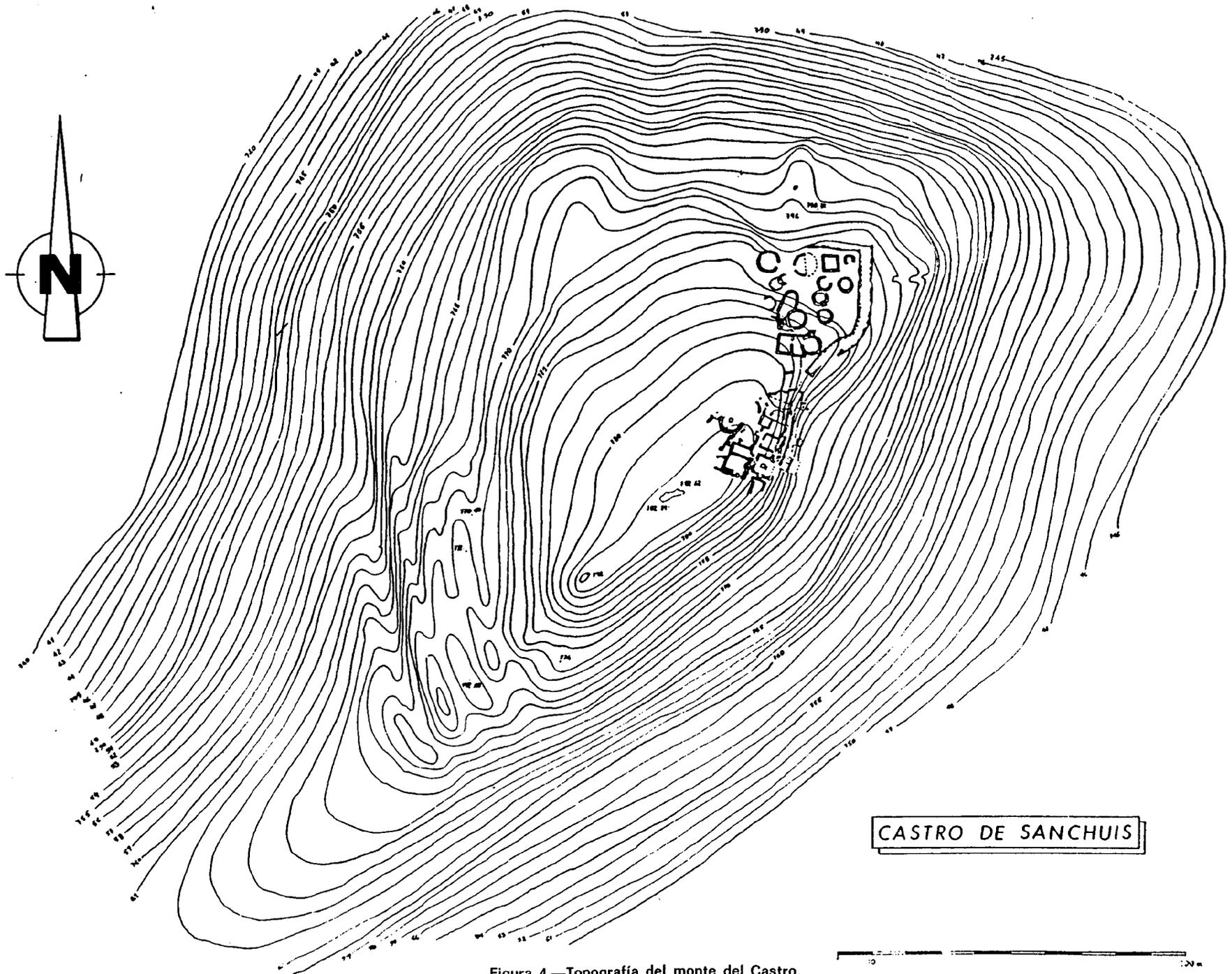


Figura 4.—Topografía del monte del Castro.

plicado mecanismo, mientras que en el extremo S se levanta un bastión de grandes dimensiones, muy arruinado.

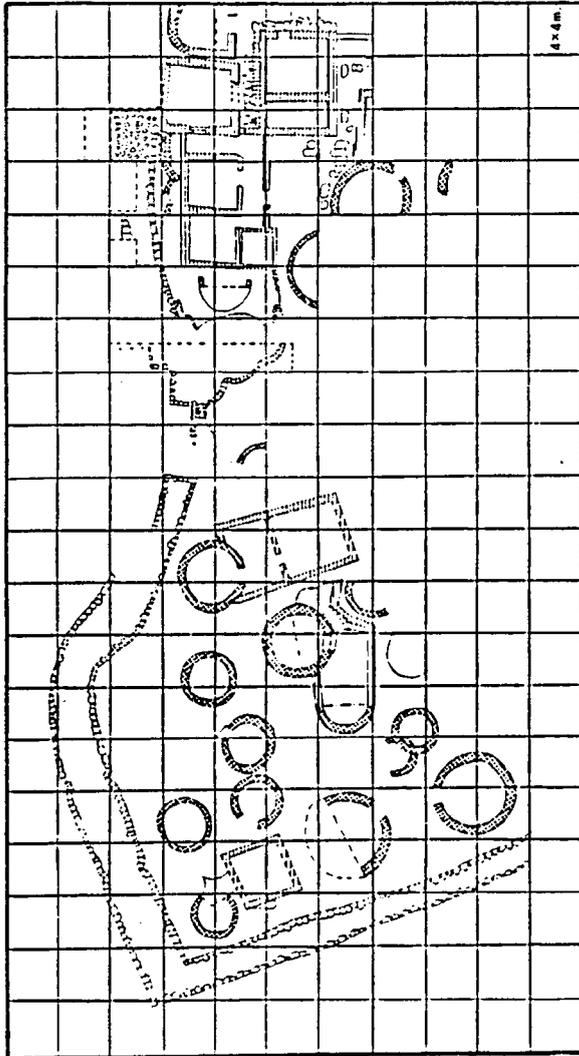


Figura 5.—Planta general del Castro de San Chuis.

Los trabajos de acondicionamiento infraestructural realizados en el Castro consisten en aterrajamientos a diferentes niveles, mientras que el suelo edificable sufrió procesos de eliminación de aristas rocosas, en función de su habitabilidad, a la vez que se niveló mediante un relleno de piedras y arcillas. La cimentación, en la mayoría de los casos, se hace sobre el sustrato rocoso, sobre el que se asienta directamente, levantándose las primeras hiladas con una anchu-

ra superior y con materiales más toscos que el resto del muro.

Los muros de las estructuras pétreas se pueden agrupar en tres conjuntos: uno constituido por muros levantados a base de hiladas de lajas de pizarra con la cara exterior perfectamente trabajada, mientras que la interior es recibida con una masa arcillosa (escasos); un segundo que comprende muros de factura normal, con ambas caras bien trabajadas, levantados mediante superposición de hileras de lajas de pizarra (foto 5) (es el más abundante); un tercero que agrupa muros levantados a base de grandes sillares de arenisca y «porfiroide» muy bien escuadrados y labrados (escasos) (foto 6).



Foto 5.—Vista parcial de algunas de las estructuras circulares y cuadrangulares.



Foto 6.—Detalle de un muro de sillares de arenisca en los que se observan marcas de los cinceles metálicos utilizados para su elaboración.

En cuanto a la tipología de las estructuras, se diferencian claramente dos grupos (fig. 5, foto 5); las de planta circular u oblonga, y las cuadrangulares. Las primeras, con muros de aparejo de pizarra, corresponden a la ocupación más antigua del poblado, mientras que las segundas, algunas de ellas con sillares, corresponden a los momentos de mayor auge de la ocupación romana. Algunas de las estructuras circulares se vieron remodeladas en época romana, con añadidos de muros longitudinales y estructuras cuadrangulares, constituyendo estructuras complejas de tipo «casa patio».

En cuanto a los sistemas de cubrición, las únicas evidencias localizadas hasta el momento, son agujeros de poste próximos a las esquinas interiores de una estructura rectangular, y un gran número de gruesas lajas de pizarra perforadas en un extremo, que probablemente sirvieron de contrapeso en techumbres vegetales, así como finas lajas de pizarra atravesadas por clavos de hierro, que aparecen en el exterior de las estructuras.

Entre los elementos accesorios de infraestructura destacan varios tramos de escaleras, calles pavimentadas con grandes losas y arcilla apisonada, aceras, un canal cubierto y pasantes en los muros. Los elementos estructurales de uso doméstico más comunes son los hogares, limitados por bloques alargados de pizarra, con losas de pizarra y/o placas de tégula, apareciendo puntualmente alacenas y bancos en el interior de las estructuras.

Los elementos pétreos encontrados en el Castro de San Chuis son muy variados, destacando una cabeza labrada en granito, muy tosca, que representa un posible Hermes, así como varias piezas de arenisca con cazoletas de pequeño tamaño y líneas repiqueteadas. También se han encontrado fragmentos de gran tamaño de un posible dintel de piedra decorado con pequeñas cazoletas y líneas entrelazadas. El resto de los elementos pétreos lo constituyen numerosos fragmentos de molinos de tipo circular y barquiforme, de granito, y dos piedras con cazoleta de arenisca, de gran tamaño.

Como hecho a destacar dentro de las técnicas de elaboración de elementos pétreos, podemos mencionar la existencia de marcas muy claras de cinceles metálicos en los sillares de arenisca

de las estructuras del barrio alto y en algunos umbrales de pizarra.

## 5. RESULTADOS

A la vista de todo lo anteriormente expuesto, en el Castro de San Chuis concurren varios aspectos que permiten verificar y contrastar debidamente nuestra hipótesis de trabajo. Así, observamos una explotación total del medio geológico en el que se sitúa el poblado, utilizándose tanto los materiales que afloran en el mismo, como otros más alejados de éste.

Entre los primeros, o materiales autóctonos, destacan por su mayor volumen las pizarras, en lajas y bloques, que se utilizan para levantar la mayoría de las estructuras de hábitat (defensas y construcciones interiores). Probablemente estos materiales proceden de las obras de acondicionamiento del sustrato (explanaciones, aterrazamientos, fosos) realizados previamente a la edificación, dado que no observamos la presencia de restos de antiguas canteras en las proximidades.

Especial mención merecen los sillares perfectamente escuadrados de arenisca y «porfiroide», también autóctonos, utilizados en una época más avanzada del poblado en la construcción de determinadas estructuras, y en los que se observan claramente las huellas de los cinceles metálicos utilizados en su ejecución. Algunos de estos sillares, los que componen una esquina, se encuentran redondeados, logrando un cuarto de cilindro.

Lajas de pizarra de poco espesor aparecen perforadas e incluso atravesadas por clavos de hierro, rodeando estructuras y en su interior, lo que nos hace pensar en su utilización como elementos de cubrición, sirviendo de refuerzo a techumbres vegetales, claramente constatadas por los restos antracológicos encontrados en el interior de algunas estructuras.

También constatamos el empleo de pizarras en la adecuación del espacio interior, tanto del poblado (pavimentos, aceras, canales, escaleras), como de las estructuras (hogarés, bancos, alacenas, umbrales).

Otros materiales autóctonos hallados en el Castro son los numerosos fragmentos de cuarzo que aparecen formando pequeñas acumulaciones en

determinadas estructuras, siempre próximos a pequeños filones que afloran en el sustrato.

Finalmente, dentro de los materiales autóctonos, destacan dos piedras de gran tamaño con una cazoleta, ejecutadas en «porfiroide» aparecidas a nivel del suelo en el interior de dos estructuras complejas.

Los materiales geológicos aportados al poblado por sus habitantes, o materiales alóctonos, están integrados por cantos rodados fluviales y bloques de granito. Los cantos y bloques rodados son de cuarcita, alcanzando centiles métricos, y su funcionalidad en el poblado nos es desconocida, apareciendo algunos de ellos formando parte de los cimientos de muros y defensas, mientras que otros se distribuyen tanto en el interior como en el exterior de las estructuras sin una funcionalidad concreta. Dado su tamaño, el esfuerzo realizado para subirlos al Castro debió ser considerable, lo que implica el conocimiento de técnicas de transporte específicas y una clara estructuración social.

Los bloques de granito proceden del cercano emplazamiento de rocas ígneas de Linares, y se emplearon en la elaboración de piedras de molino, tanto barquiformes (más antiguas) como circulares (romanas). Su presencia, bastante numerosa en el Castro, nos habla del desarrollo de una agricultura cerealística, en los alrededores del poblado, durante la ocupación romana, que obligaría a la roturación de los terrenos más llanos cercanos a éste, con la consiguiente pérdida de suelo después de su abandono, hacia los siglos III y IV.

La existencia de materiales graníticos en el Castro nos indica la realización por sus habitantes de unos desplazamientos para el aprovisionamiento de materiales rocosos de hasta 4,5 km., que es la distancia máxima a la que se encuentra el granito de Linares. Tanto el volumen de este material, como el de los cantos rodados, precisaría que esos desplazamientos fuesen colectivos, utilizándose, como en el caso de los cantos, sistemas de transporte específicos.

Todo esto nos indica un conocimiento de las propiedades de las rocas del entorno del poblado por parte de sus habitantes, discriminando los materiales exfoliables que producen lajas (pizarras), de los de textura granular y homogénea fácilmente escuadrables (areniscas y «porfiroi-

des»), ambos propios para la construcción, y situados en el recinto del propio poblado. El granito es utilizado para la realización de elementos de fricción (piedras de molino), dadas sus características texturales (textura granoblástica homogénea) y de tenacidad y dureza, con objeto de obtener un mejor rendimiento (duración/coste).

El conocimiento del medio geológico alcanza su mayor apogeo en la época romana, concretamente entre los siglos I a III, en la que el Castro ejerce un claro control del territorio relacionado con la explotación y vigilancia militar de los cotos mineros cercanos (ROLDAN, 1983). En efecto, en esa época se desarrollan en la zona de Allande extensas explotaciones auríferas, testimoniadas tanto por la toponimia cercana (Valle-

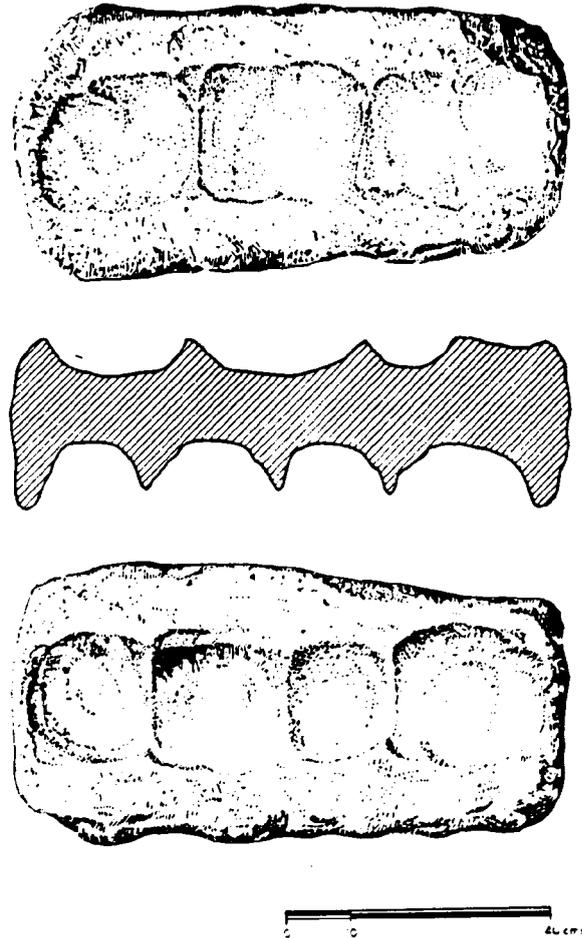


Figura 6.—Mortero de Fresnedo (según SANCHEZ-PALENCIA, 1984-85).

dor, por ejemplo), como por la existencia de enormes cortas en la montaña, caso del Bachicón de Fresnedo, y por el hallazgo en las proximidades de esa explotación de una piedra de cuarcita con cuatro cazoletas en cada cara, denominada «mortero» (fig. 6), utilizada como elemento fundamental de un sistema de canales para el enriquecimiento del mineral aurífero (SANCHEZ-PALENCIA, 1984-1985).

Por todo ello, y volviendo a la hipótesis inicial, podemos afirmar que en la época en que se desarrolla el Castro de San Chuis, existía entre los pobladores indígenas de la zona del Narcea, un cierto conocimiento del medio geológico y sus características, conocimiento que se ve claramente superado por el de los romanos, que introducen elementos geológicos nuevos en los hábitats indígenas (sillares escuadrados, molinos circulares de granito), a la vez que aprovechan sistemáticamente el territorio, explotando las numerosas minas auríferas existentes en la zona, utilizando para ello complejos sistemas de beneficio del mineral. En este contexto, el Castro de San Chuis se muestra como un asentamiento de gran magnitud, desde el cual, y dadas sus especiales características descritas en el presente trabajo, se ejercería un control total del territorio, destacando la relación que se observa entre las formas de hábitat y el medio geológico.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todos los que colaboraron en los trabajos de excavación en el Castro de San Chuis; a Gema Adán y Elías Carrocera por su ayuda en los trabajos de campo; y a José Arroyo, Luis M. Mata y Federico Ramírez, que delinearón las figuras.

## REFERENCIAS

- BELLO DIEGUEZ, J. M.; CRIADO BOADO, F., y VAZQUEZ VARELA, J. M. (1982): *Megalitismo y medio físico en el Noroeste de la Península Ibérica: Estado de la cuestión y perspectivas*. Zephyrus, XXXIV-XXXV, pp. 109-118.
- BLAS CORTINA, M. A. de (1983): *La Prehistoria reciente de Asturias*. Estudios de Arqueología Asturiana, núm. 1, 278 pp., Oviedo.
- BLAS CORTINA, M. A. de (1984): *El Megalitismo en Asturias: Consideraciones sobre el estado actual de la investigación*. Portugalía, IV-V, pp. 63-70.
- CARROCERA FERNANDEZ, E. (1988): *El Valle del Navia en época prerromana y romana*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, 640 pp.
- CARROCERA FERNANDEZ, E., y JORDA PARDO, J. F. (1984): *Aproximación al conocimiento del hábitat y del territorio castreños*. Arqueología Espacial, 5, pp. 7-20.
- ESPARZA ARROYO, A. (1984): *Los castros de Zamora occidental y Tras-os-Montes oriental: Hábitat y cronología*. Portugalía, IV-V, pp. 131-146.
- ESPARZA ARROYO, A. (1986): *Los castros de la Edad del Hierro del noroeste de Zamora*. Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo. Diputación Provincial de Zamora, 416 pp.
- FERNANDEZ BUELTA, J. M. (1949): *El Castro de La Escrita o de Riu de Castro (Boal)*. BIDEA, núm. 8, 121-127.
- GARCIA BELLIDO, A., y URIA RIU, J. (1940): *Avance a las excavaciones del Castellón de Coaña*. Revista de la Universidad de Oviedo, núm. 2, pp. 105-131.
- GARCIA BELLIDO, A. (1941): *El Castro de Coaña y algunas notas sobre el posible origen de esta cultura*. AEA, núm. XIV-42.
- GARCIA BELLIDO, A. (1942a): *El Castro de Coaña (nuevas aportaciones)*. AEA, núm. XV-48, pp. 216-244.
- GARCIA BELLIDO, A. (1942b): *El Castro de La Escrita*. AEA, núm. XV-49.
- GARCIA BELLIDO, A. (1942c): *El Castro de Pendia*. AEA, núm. XV-49, pp. 288-306.
- IGME (1981): *Mapa geológico de España. E. 1:200.000. Síntesis de la Cartografía existente. 9. Cangas del Narcea*, 2.ª ed., Madrid.
- JORDA CERDA, F. (1983): *Nueva guía del Castro de Coaña (Asturias)*. Guías de Arqueología Asturiana, 1, pp. 31. Oviedo.
- JORDA CERDA, F.; MANZANO HERNANDEZ, M. P.; JORDA PARDO, J. P.; GONZALEZ-TABLAS, F. J.; CARROCERA FERNANDEZ, E., y BECARES PEREZ, J. (1989): *El Castro asturiano de San Chuis*. Revista de Arqueología, núm. 95, pp. 38-48, y núm. 96, p. 64.
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L. (1972): *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, a escala 1:1.000.000*. IGME, Madrid.
- MANZANO HERNANDEZ, M. P. (1985): *Aportaciones al estudio de la Cultura Castreña en el Occidente asturiano: La cerámica del Castro de San Chuis*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca, 157 pp.
- MARCOS, A. (1973): *Las series del Paleozoico Inferior y la estructura hercínica del Occidente de Asturias (NO de España)*. Trabajos de Geología, núm. 6.
- MARCOS, A.; MARTINEZ, F. J.; JULIVERT, M., y PULGAR, J. A. (1980): *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. 50. Cangas del Narcea*. Segunda Serie. Primera ed., IGME. Madrid.
- MARCOS, A.; PULGAR, J. A., y MARTINEZ, F. J. (1980):

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. 26. Boal. Segunda serie. Primera ed., IGME. Madrid.

MARCOS, A., y PULGAR, J. A. (1980): *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. 11. Luarca*. Segunda serie. Primera ed. IGME. Madrid.

MARTINEZ FERNANDEZ, J., y JUNCEDA AVELLO, J. M. (1969): *El Castro de Mohias (Coaña)*. Zephyrus, XIX-XX, pp. 178-181.

MARTINEZ GARCIA, E. (1981): *La Geología y el Relieve de Asturias*. Enciclopedia Temática de Asturias, t. 10, pp. 57-124.

MAYA, J. L. (1984): *Hábitat y cronología de la Cultura Castreña en Asturias*. Portugalia, IV-V.

MAYA, J. L. (1989): *Los castros en Asturias*. Biblioteca Histórica Asturiana (VI Centenario), núm. 21. Silverio Cañada, ed., Gijón, 174 pp.

ROLDAN HERVAS, J. M. (1983): *El ejército como factor de romanización en Asturias*. Indigenismo y romanización en el Conventus Asturianum, Ministerio de Cultura y Universidad de Oviedo. Madrid.

SANCHEZ-PALENCIA RAMOS, F. J. (1979): *Römischer Goldbergau im Nordwestern Spanien*. Der Anschnitt, 2-3, pp. 37-61.

SANCHEZ-PALENCIA RAMOS, F. J. (1983): *Explotaciones auríferas en el Conventus Asturum*. Indigenismo y Romanización en el Conventus Asturum. Ministerio de Cultura y Universidad de Oviedo. Madrid.

SANCHEZ-PALENCIA RAMOS, F. J. (1984-85): *Los «Morteros» de Fresnedo (Allande) y Cecos (Ibias) y los lavaderos de oro romanos en el noroeste de la Península Ibérica*. Zephyrus, XXXVII-XXXVIII, pp. 349-359.

SUAREZ, O. (1971): *Petrología de los afloramientos de Linares (Pola de Allande, Asturias)*. Studia Geologica Salmanticensia, II, pp. 178-181.

VAZQUEZ VARELA, J. M., y VIDAL ROMANI, J. R. (1975): *Prospecciones arqueológicas en el Castro de Nostián: Estudio petrológico*. I Jornadas de Metodología Aplicada a las Ciencias Históricas. Universidad de Santiago, pp. 59-63.

VAZQUEZ VARELA, J. M. (1983): *La territorialidad de la Cultura Castreña: Una primera aproximación metodológica*. II. Seminario de Arqueología del Noroeste. Madrid, pp. 97-102.

VAZQUEZ VARELA, J. M.; BELLO DIEGUEZ, J. M., y CRIADO BOADO, F. (1983): *Megalitismo y medio edafológico en el Noroeste Peninsular*. VI Reunión do Grupo Español de Trabajo de Cuaternario. Cuadernos del Laboratorio Xeolóxico de Laxe, núm. 5, pp. 47-54.

VIDAL ROMANI, J. R., y VAZQUEZ VARELA, J. M. (1979): *Conocimiento geológico del hombre prehistórico*. XV Congreso Nacional de Arqueología, pp. 11-18.

ZAMARREÑO, I. (1983): *Estratigrafía del Paleozoico en el Macizo Ibérico*. Libro Jubilar J. M. Ríos. Geología de España, IGME, pp. 117-191.

Original recibido: Junio de 1990.

Original aceptado: Julio de 1990.

A large, stylized number '1' composed of multiple parallel outlines, creating a 3D effect. The text 'Congreso de Historia de Castilla - La Mancha' is overlaid on the right side of the '1'.

Congreso  
de  
Historia  
de  
Castilla - La Mancha

Ciudad Real 16 - 20 diciembre 85

# **INVESTIGACIONES PREHISTORICAS EN EL ALTO VALLE DEL JARAMA (GUADALAJARA)**

**JESUS F. JORDA PARDO**

## **1. Introducción**

**E**l Alto Valle del Jarama, en el sector comprendido entre las localidades de Puebla del Vallés y Retiendas, corta y atraviesa una estrecha franja de calizas cretácicas, que se encuentran intensamente carstificadas, ofreciendo a lo largo del valle una serie de cavidades que constituyen un lugar muy apropiado para la existencia de asentamientos superopaleolíticos. El paisaje en el que se sitúan estas cavidades presenta también unas características muy benignas para la ocupación prehistórica de la zona. Así, las cavidades y abrigos están situados sobre el valle del Jarama, que circula encajado en las calizas, y que está poblado por abundante vegetación arbórea, mientras que fuera del valle existen amplias superficies cubiertas por encinar y monte bajo, además de cultivos cerealistas. Por el N, Somosierra y la Sierra de Ayllón rodean la vertiente derecha del valle, que se abre hacia el S y SW, en dirección a la depresión del Tajo.

Los trabajos de prospección realizados en la zona han puesto de manifiesto la existencia de varias cavidades con yacimientos prehistóricos. Para su denominación, y dado que algunas carecen de topónimo popular, hemos utilizado el siguiente convencionalismo: todos los yacimientos y cavidades llevan el nombre genérico de Jarama, acompañado de un número romano que es impar para los de la margen derecha y par para los de la izquierda. Hasta el momento han sido catalogadas cuatro cavidades, de las que tres contienen restos arqueológicos (Jarama I, Jarama II y Jarama IV). En este trabajo nos referiremos a los resultados obtenidos en las excavaciones sistemáticas realizadas en el yacimiento prehistórico de Jarama II.

## **2. El yacimiento prehistórico del Jarama II**

### **2.1. Situación**

El yacimiento de Jarama II se encuentra situado en la margen izquierda del río Jarama, en el término municipal de Valdesotos (provincia de Guadalajara), a 940 m. de altitud (s.n.m.) (fig. 1), dentro de la hoja nº 485 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Es una cueva de escasas dimensiones, cuya situación topográfica es bastante compleja, por lo que el acceso a ella es difícil y peligroso. La entrada se encuentra en la pared vertical del acantilado o farallón que forma en ese punto la margen izquierda del río, a unos cinco metros por debajo de la superficie topográfica superior, en una pequeña cornisa situada a 21 m. del suelo en caída vertical (fig. 1).

Geológicamente, la cavidad está desarrollada en las calizas del Cretácico Superior, que en esta zona están ligeramente plegadas. El conjunto de cavidades cársticas está cortado

## 2.4. Resultados

La excavación nos ha proporcionado hasta el momento la siguiente estratigrafía, que de techo a muro es:

- N. 0. Corteza estalagmítica con cantos y bloques de caliza, cuarcita y pizarra, que contiene restos cerámicos encostrados.
- N. 1. Nivel detrítico, limoso-arenoso, sin consolidar, y con aspecto muy pulverulento. Contiene abundantes restos óseos y algunos objetos líticos y óseos.
- N. 2. Nivel detrítico inferior, conglomerático y cementado, constituido por cantos de esquisto y cuarcita fundamentalmente, englobados en una matriz arenosa de color rojizo. Es estéril arqueológica y paleontológicamente, y procede de la entrada en el interior del karst de los depósitos neógenos que cubren al Cretácico.

Entre los materiales encontrados, destacan por su abundancia los restos óseos del nivel 1, entre los que predominan los de mamíferos, y apareciendo más pobremente representados los de aves, reptiles, anfibios y peces. Entre los mamíferos destacan el conejo, la cabra y el ciervo, mientras que la herpetofauna determinada corresponde a las especies *Lacerta lepida* (lagartija) y *Pelobates cultripes* (sapo) (comunicación personal de B. Sanchiz). El estudio de los micromamíferos ha aportado hasta el momento la presencia en el yacimiento de *Microtus nivalis* (comunicación personal de G. Sánchez Ciment). Además han aparecido algunos restos humanos, fundamentalmente piezas dentarias.

Los materiales arqueológicos recuperados consisten en:

- Cerámica: Varios fragmentos de vasijas de pasta grosera y desgrasante muy abundante, sin decoración. Aparecen en la corteza estalagmítica y en la limpieza del revuelto superficial en la zona saqueada (fig. 3).
- Industria lítica: Se compone de un raspador sobre lasca desviada de cuarcita con huellas de uso muy acentuadas, tres hojas de sílex, cuatro lascas y una esquirla de este mismo material, y corresponden al nivel uno (figs. 4 y 5).
- Industria ósea: Han aparecido un fragmento de hueso posiblemente trabajado, una espátula sobre diáfisis ósea, realizada por abrasión de la parte interna del hueso, y con abundantes huellas de elaboración y de uso, y una azagaya de asta y sección cuadrangular, con dos finas acanaladuras longitudinales en caras opuestas, que remarcan la sección, e incisiones transversales muy finas en la parte mesial, facturada en su extremo proximal. Todos estos objetos pertenecen al nivel (fig. 6).
- Objetos de adorno: Entre los materiales recuperados en la limpieza superficial del nivel uno en la zona saqueada, aparecieron una cuenta de collar de hueso y sección circular y un colgante sobre incisivo atrofiado de ciervo con perforación bitroncocónica, y en el nivel uno, un fragmento de concha de bivalvo con una perforación (fig. 5).

Además, el material más relevante procedente de Jarama II es la estatuilla anteriormente mencionada. Se trata de una escultura de busto redondo realizada en marfil y que representa un mustélido, con unas dimensiones de 86 mm. de largo por 35 de alto. La especie representada podría tratarse de un tejón (*Meles meles*) o de un glotón (*Gulo gulo*), aunque su adscripción a una especie concreta resulta difícil. Desgraciadamente, la pieza fue obtenida en el saqueo parcial del yacimiento, aunque por la posición de la zanja clandestina podría proceder del nivel uno (foto n° 1).

Esta estatuilla representa una obra excepcional en el arte mueble prehistórico, y ha sido reconocida como tal por numerosos especialistas en el reciente Congreso Internacional de Arte Rupestre celebrado en Zaragoza y Caspe.

## 2.5. Paralelos, cronología e interpretación

Culturalmente, se han podido diferenciar en el yacimiento de Jarama II dos horizontes diferentes: uno superior, correspondiente a los materiales cerámicos, adscribible en una primera aproximación al Calcolítico o a la Edad del Bronce, y otro inferior, que correspondería a un momento del Paleolítico superior.

en una zona situada entre Los Casares y El Reguerillo, intuyéndose, cada vez con más fuerza, un poblamiento superopaleolítico nada desdeñable en la fachada noroccidental de Castilla-La Mancha.

## **Agradecimientos**

Queremos hacer constar nuestro agradecimiento a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, que subvencionó los trabajos de excavación y prospección, y al Canal de Isabel II, que nos permitió usar sus instalaciones próximas al yacimiento. Este agradecimiento lo hacemos extensivo a los vecinos de la zona que con su comportamiento ejemplar contribuyeron al normal desarrollo de los trabajos.

Han colaborado en los aspectos técnicos y científicos que han permitido la realización de este artículo los siguientes compañeros; J.L. Sanchidrián Tortí (Málaga), V. Rodríguez Otero (Depto. de Prehistoria, Oviedo), A. Avila Sánchez (Málaga), E. Neira García, J. Bécares Pérez, F.J. González-Tablas Sastre, F. Jordá Cerdá (Depto. de Prehistoria, Salamanca), L. Gaubeka Barturen (Madrid) y J.E. Aura Tortosa (Depto. de Prehistoria, Valencia), todos ellos prehistoriadores; J.L. Soriano Carrillo (Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid), geólogo, E. Herraiz Igualador y E. Soto (M.N.C.N., Madrid), paleontólogos, G. Sánchez Ciment (Depto. de Zoología, Univ. Complutense, Madrid), F.B. Sanchiz e I. Doadrio Villarejo (M.N.C.N., Madrid) zoólogos, B. Gómez Alonso, restauradora (M.N.C.N.), C. Lario Muñoz (Univ. Complutense) y J. Gómez Herranz (Univ. Autónoma, Madrid), estudiantes de Prehistoria. A todos ellos, muchas gracias.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BALDEON, A.: "Industria ósea de Ekain", en Altuna, J. y Merino, J.M., *El yacimiento prehistórico de la Cueva de Ekain (Deba, Guipúzcoa)*, Editorial Eusko Iraskuntza, San Sebastián, 1984, pp. 189-209.
- BARANDIARAN, I.: "El Glotón (*Gulo gulo*) en el Arte Paleolítico", *Zephyrus*, XXV, Salamanca, 1974, pp. 177-196.
- CABRE AGUILO, J.: "Las cuevas de los Casares y de la Hoz", *Archivo Español de Arte y Arqueología*, X, Madrid, 1934, pp. 225-254.
- CABRERA VALDES, V.: "El yacimiento de la Cueva de "El Castillo" (Puente Viesgo, Santander", *Bibliotheca Praehistorica Hispana*, vol. XXII, Madrid, 1984, p. 485.
- FABIAN, F.: "El Cerro del Berrueco. Casi diez mil años de habitación ininterrumpida", *Revista de Arqueología*, n° 56, Madrid, 1985, pp. 6-17.
- FARINHA DOS SANTOS, M.: "Pre-Historia de Portugal", *Biblioteca das Civilizações Primitivas*, Editorial Verbo, Lisboa, 1985, p. 216.
- GONZALEZ ECHEGARAY, J. y BARANDIARAN MAESTU, I.: *El Paleolítico Superior de la Cueva del Rascaño (Santander)*, Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira, n° 3, Santander, 1981, p. 359.
- I.G.M.E.: *Mapa Geológico de España a escala 1:200.000, n° 38, Segovia*, 2ª Edición, Ministerio de Industria, Madrid, 1971.
- LAPLACE, G.: "Sobre la aplicación de las coordenadas cartesianas en la excavación estratigráfica", *Speleon*, 20, Barcelona, 1973, pp. 139-159.
- MOURE ROMANILLO, J.A. y FERNANDEZ-MIRANDA, M.: "El abrigo de Verdelpino (Cuenca). Noticia de los trabajos de 1976", *Trabajos de Prehistoria*, n° 34, Madrid, 1977, pp. 32-81.
- MAURA, M.: "Los dibujos rupestres de la Cueva del Reguerillo (Torrelaguna), provincia de Madrid", *II Congreso Nacional de Arqueología* (Madrid, 1951), Zaragoza, 1952, pp. 73-74, y cuatro láminas.
- OLIVEIRA JORGE, S. y V.; FERREIRA DE ALMEIDA, C.A.; SANCHES, M.J. y SOEIRO, M.T.: "Desco

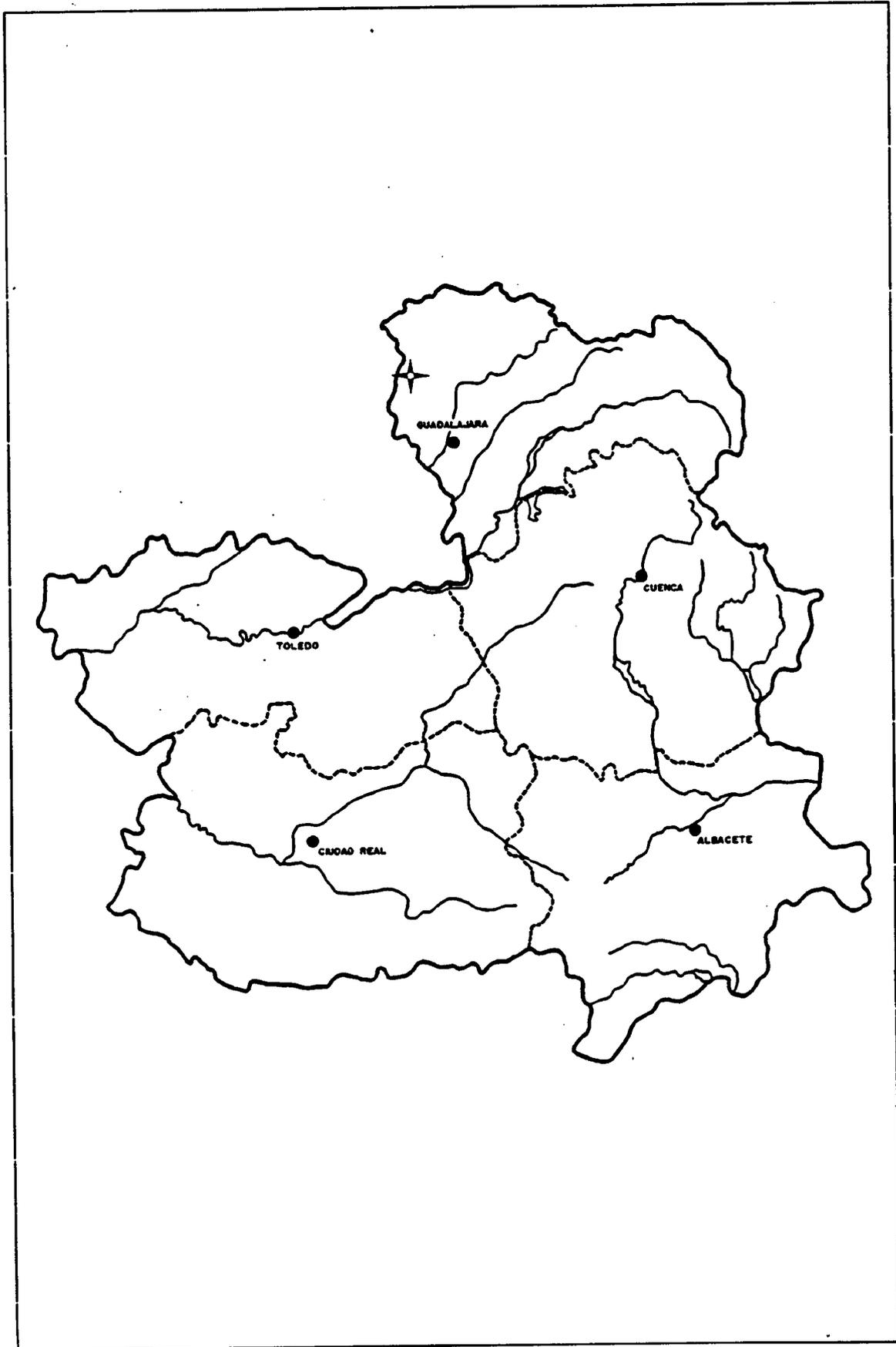


Fig. 1.- Mapa de Castilla-La Mancha y situación Jarama II

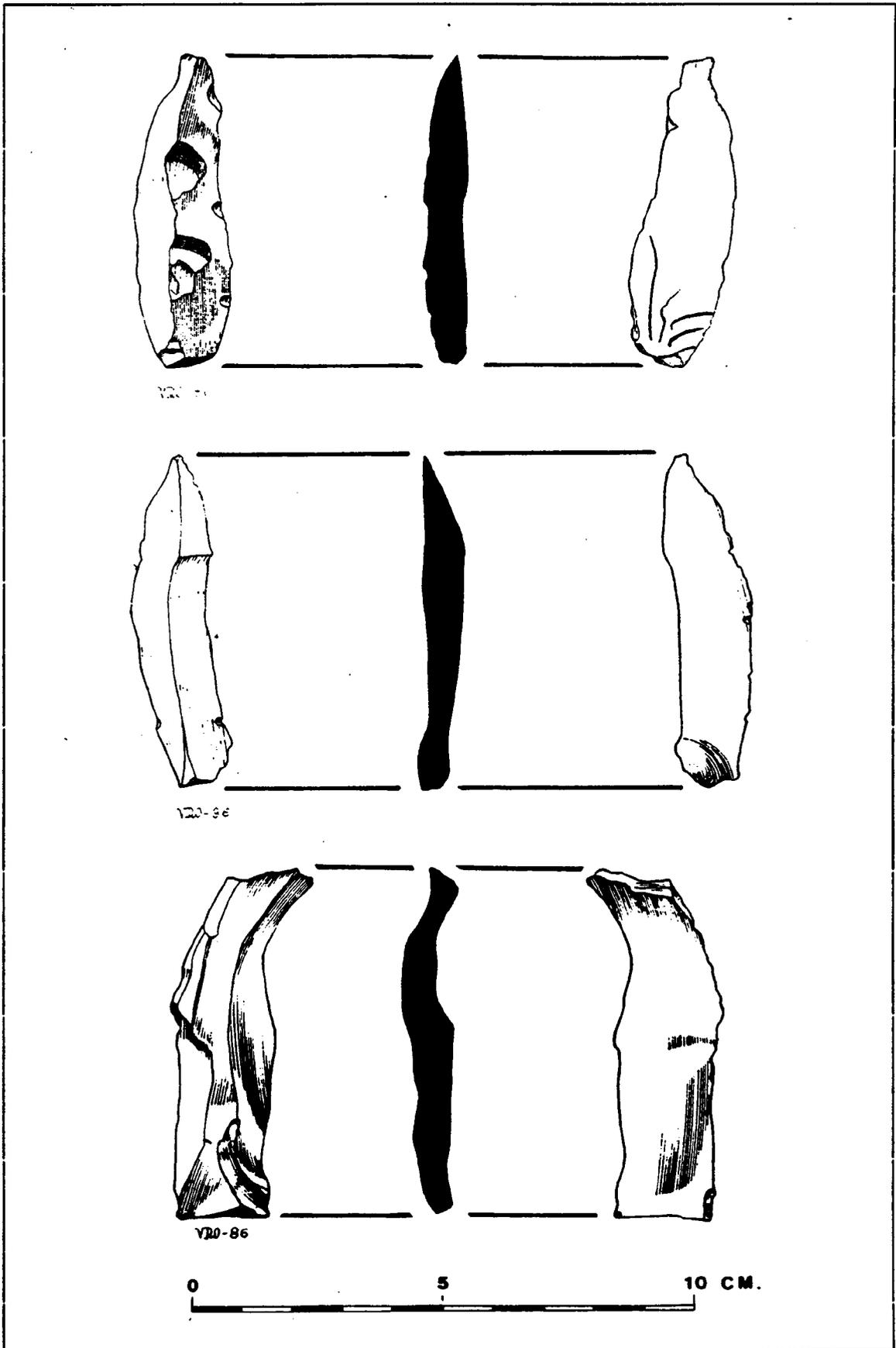


Foto 3.- Piezas de sílex de Jara II

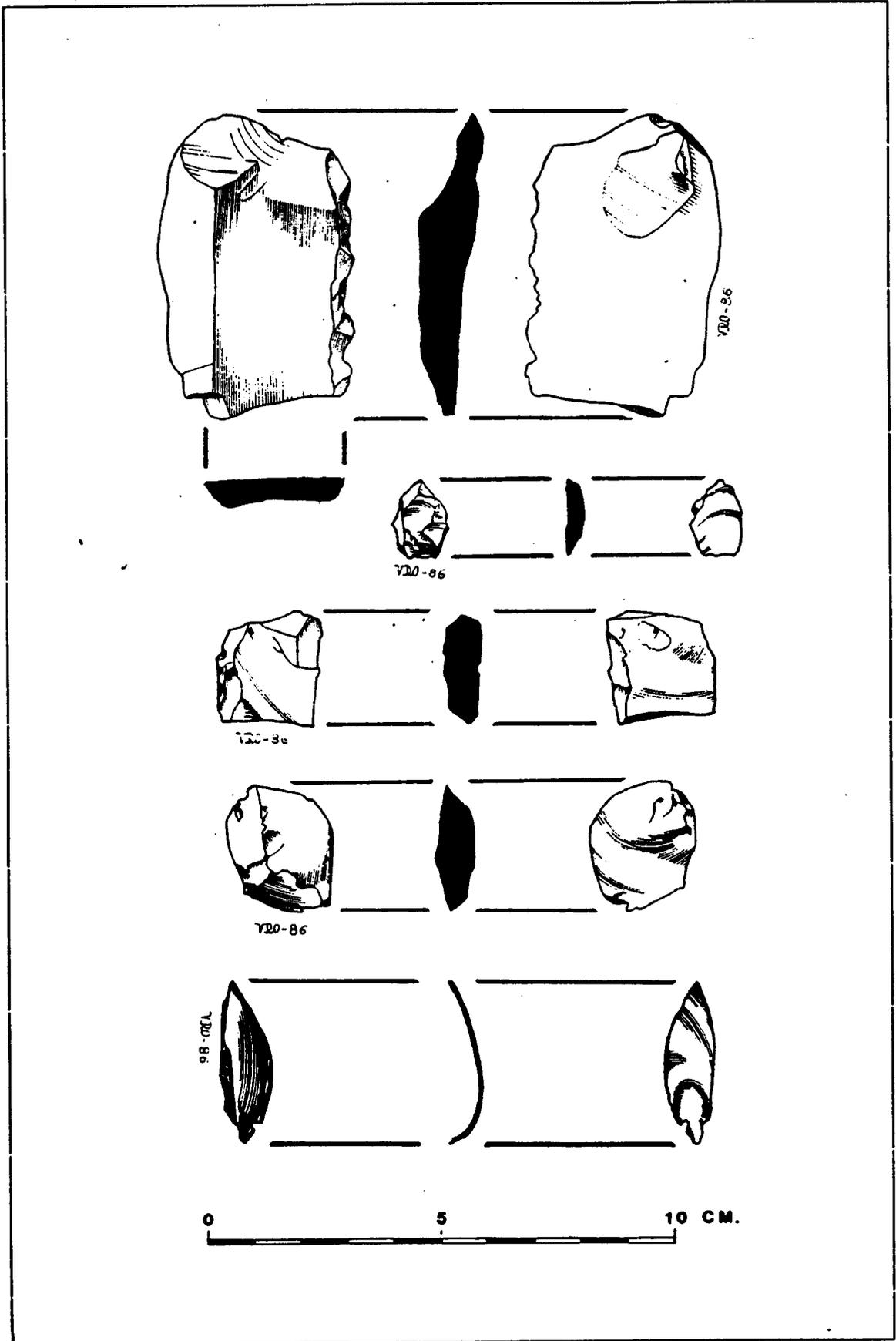


Foto 5.- Piezas de sílex y valva de molusco perforada de Jarama II

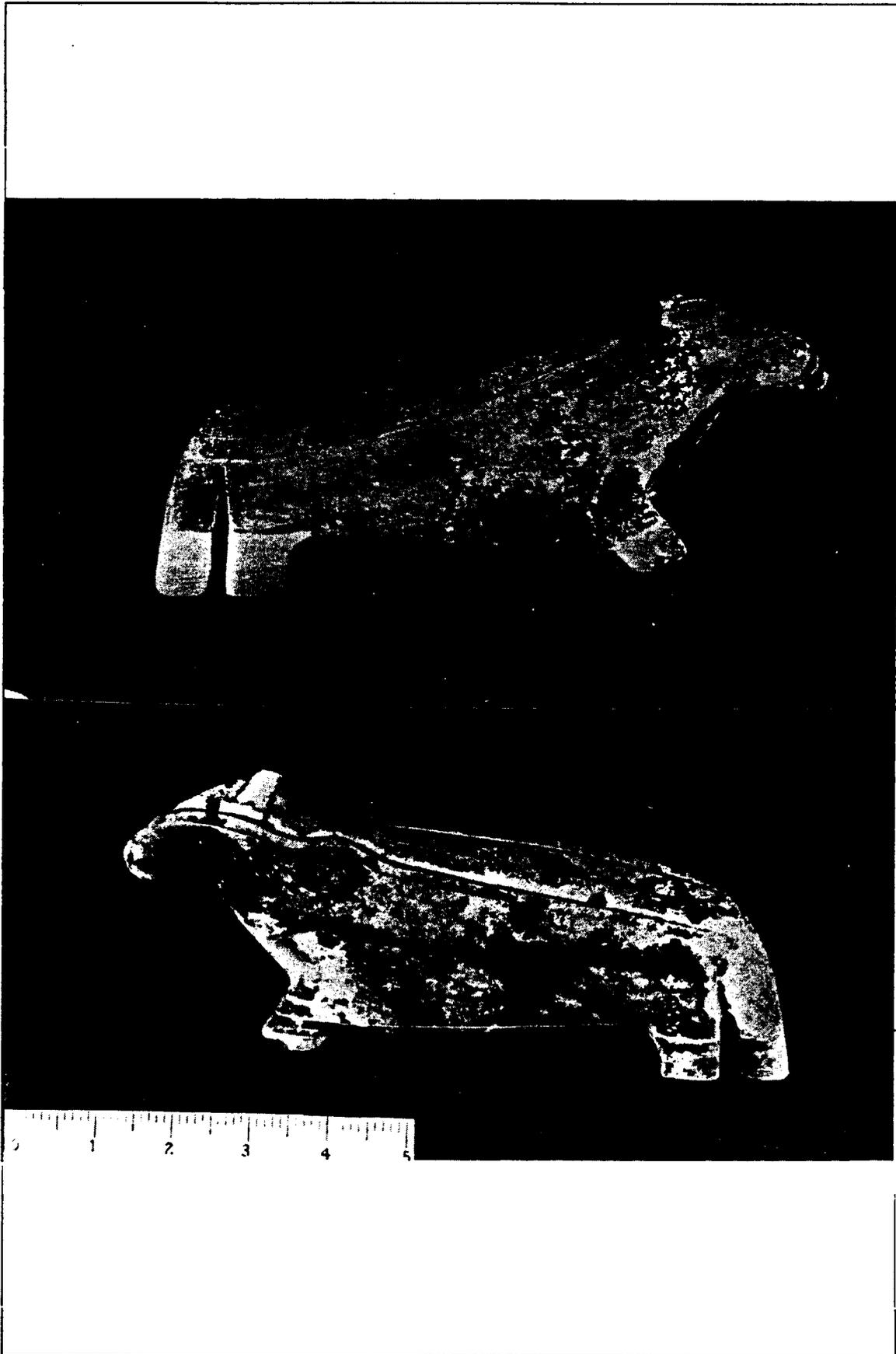
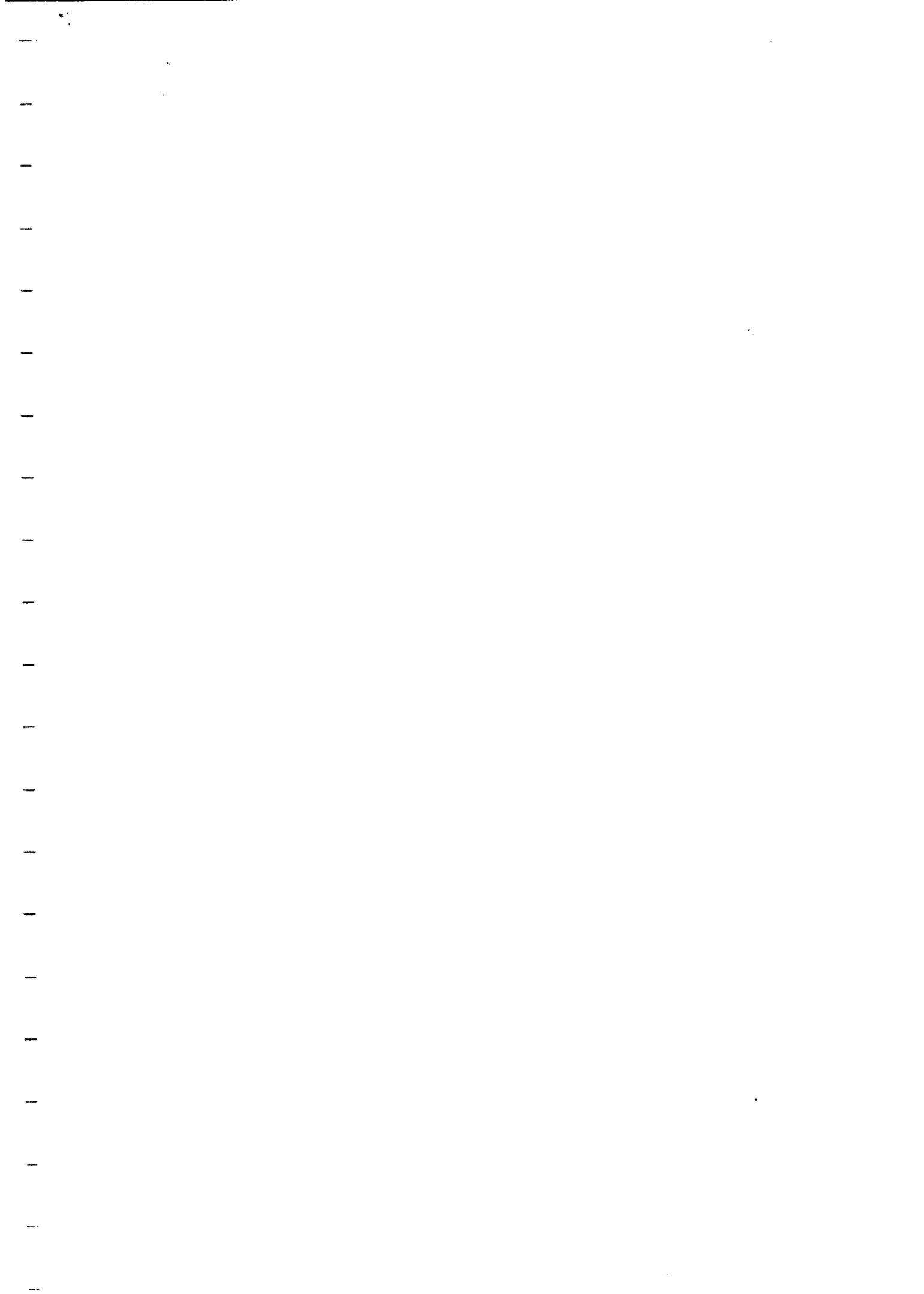


Fig. 6.- Estatuilla de marfil de Jarama II



# El límite Pleistoceno-Holoceno en el yacimiento de la Cueva de Nerja (Málaga)

J. F. Jordá Pardo (\*), J. E. Aura Tortosa (\*\*), F. Jordá Cerdá (\*\*\*)

(\*) Area de Ingeniería GeoAmbiental, I.T.G.E., Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

(\*\*) Depto. de Prehistoria, Fac. de Geografía e Historia, Universidad de Valencia, Blasco Ibáñez, 28, 46010 Valencia.

(\*\*\*) Universidad de Salamanca, 37071 Salamanca.

## ABSTRACT

*The chronostratigraphical sequence of the Nerja Cave, obtained from sedimentological and archaeological data and from radiocarbonic analysis, contains the Pleistocene-Holocene boundary.*

**Key words:** *Sedimentology, Archaeology, Geochronology, Pleistocene-Holocene boundary, Nerja Cave, Spain.*

*Geogaceta*, 8 (1990), 102-104.

## Introducción

La Cueva de Nerja se encuentra situada en el extremo oriental de la costa de Málaga, desarrollada en los mármoles triásicos que culminan la Unidad de las Alberquillas del Manto de La Herradura, en el Complejo Alpujárride de las Cordilleras Béticas (Zona Bética) (García Dueñas y Avidad, 1981).

La Cueva contiene un importante yacimiento arqueológico en la zona de su entrada original (Salas de la Mina, de la Torca y del Vestíbulo), que alcanza una potencia máxima de 7 m., en el que, desde 1979, un equipo interdisciplinar coordinado por uno de nosotros (F.J.C.) desarrolla una serie de investigaciones cuyos resultados han sido expuestos convenientemente.

Hasta el momento se han realizado varias dataciones radiocarbónicas que han sido ya publicadas (Aura, 1986; Pellicer y Acosta, 1986), y recientemente se han obtenido nuevas fechas C-14 que permiten establecer una secuencia cronoestratigráfica precisa que cubre el tránsito Pleistoceno superior-Holoceno.

## Litoestratigrafía y dataciones absolutas

La secuencia litoestratigráfica del yacimiento de la Cueva de Nerja se ha obtenido a partir de los cortes estratigráficos generados en el transcurso de las excavaciones arqueológicas sistemáticas en las Salas de la Mina y del Vestíbulo (Jordá Pardo, 1986), y puede sintetizarse en las siguientes unidades (fig. 1):

— Unidad 1. En el Vestíbulo des-

cansa sobre una potente corteza estalagmítica, mientras que en la Mina no se ha llegado a su base. Se compone de tres niveles (NM 19, NM 18, NM 17; NV 13, NV 12, NV 11) de arenas rojizas-anaranjadas, con cantos autóctonos, parcial o totalmente cementadas por carbonatos (potencia 120 cm.).

— Unidad 2. Sólo aparece en el Vestíbulo, de forma erosiva sobre la anterior, y consta de tres niveles (NV 10, NV 9, NV 8), los dos inferiores arcillosos, de color negro, muy ricos en materia orgánica, y el superior limoso arenoso, anaranjado, con intercalaciones de materia orgánica, cementado parcialmente por carbonatos (potencia 85 cm.).

— Unidad 3. Aparece en las dos salas con límite inferior erosivo y se compone de tres niveles (NM 16, NM 15, NM 14; NV 7, NV 6, NV 5) de color negro-gris, ricos en materia orgánica, limoso-arcillosos, con una gran acumulación de plaquetas autóctonas angulosas en el nivel intermedio (potencia 105 cm.). El nivel NV 6 corresponde a una estructura antrópica desarrollada simultáneamente al techo del NV 7.

— Unidad 4. Con límite inferior fuertemente erosivo consta de dos niveles en la Mina (NM 13, NM 12) y uno en el Vestíbulo (NV 4). El NM 13 es un depósito de gravas fluviales, alóctonas, el NM 12 son materiales finos, y el NV 4 es un depósito antrópico compuesto casi exclusivamente por valvas de *Mytilus edulis*, que rellenan una gran cicatriz erosiva (potencia 60 cm.).

— Unidad 5. Su límite inferior es erosivo y está integrada por varios niveles que aparecen en ambas salas,

si bien en el Vestíbulo se trunca en el corte estudiado (NM 11, NM 10, NM 9, NM 8, NM 7; NV 3, NV 2, NV 1). En ellos predominan los materiales finos, grises, con carbonataciones secundarias (potencia 135 cm.).

— Unidad 6. Con su límite inferior fuertemente erosivo, esta unidad consta de cinco niveles (NM 6, NM 5, NM 4, NM 3 y NM 2) en los que alternan materiales muy groseros, con materiales finos, con carbonatación secundaria (potencia 150 cm.).

— Unidad 7. Erosiva sobre la anterior se compone de una brecha de materiales groseros alóctonos y autóctonos (NM 1), culminada por una corteza estalagmítica (NM 0) (potencia 80 cm.).

Las dataciones absolutas, obtenidas en el Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad de Granada (UGRA) y por el Servei de Datació per Radiocarboni de la Universitat de Barcelona (UBAR), son las que aparecen en el cuadro de la página siguiente.

Todas ellas presentan una gran coherencia, a excepción de UBAR 157. Esta fecha ha sido obtenida a partir de una muestra intercalada entre UBAR 98 y UBAR 158, y como se observa resulta distorsionante en el marco de las dataciones existentes, al igual que en el contexto cronológico-cultural en el que se inscribe (Aura, 1989). Las fechas UBAR 155 y UBAR 156 presentan una mínima inversión debida las características geométricas de los niveles NV 7 y NV 6.

## La secuencia de la Cueva de Nerja y el límite Pleistoceno-Holoceno

A la vista de todo lo expuesto, la secuencia obtenida nos permite esta-

— Etapa 2. Corresponde a un hiato producido por erosión y/o ausencia de sedimentación. Se situaría al final del Würm III.

— Etapa 3 (Unidad 2). Situada en la interfase Würm III—IV, corresponde a una sedimentación de muy baja energía en un medio templado y muy húmedo, coincidente con una ocupación del Solutrense Medio-Superior. Únicamente se constata en el Vestíbulo.

— Etapa 4. Hiato estratigráfico, con desarrollo de claros procesos erosivos, que en el Vestíbulo originan la ausencia de unos 6.000 años del registro, y que en la Mina, junto con la Etapa 2, representa un vacío de más de 7.000 años.

— Etapa 5 (Unidad 3). Corresponde a las últimas etapas del Würm IV, y comienza con una sedimentación de baja a moderada energía, para dar paso a una intensa gelivación, con aporte de gelifractos autóctonos, que marca el momento más frío de la secuencia, y terminar con una sedimentación por arroyada difusa. Estos niveles contienen abundantes restos de una ocupación del Magdaleniense Superior con arpones.

— Etapa 6. Fase de erosión intensa, que termina siendo claramente fluvial, y que elimina unos 1.000 años del registro estratigráfico. Se sitúa en los últimos momentos del Pleistoceno superior, dado que está postdatada en  $10.860 \pm 160$  años BP.

— Etapa 7 (Unidad 4). Comprende el final del Pleistoceno superior y el comienzo del Holoceno, y corresponde a un conchero antrópico de adscripción epipaleolítica.

— Etapa 8. Erosión.

— Etapa 9 (Unidad 5). Ya claramente dentro del Holoceno, en esta etapa se produce una sedimentación de baja energía, con predominio de la arroyada difusa, y con procesos de alteración posteriores. Coincide con el comienzo de la ocupación neolítica de la Cueva, en un clima templado húmedo.

— Etapa 10. Fuerte erosión.

— Etapa 11 (Unidad 6). Sedimentación coluvionar que alterna con momentos de arroyada difusa, originándose posteriormente carbonataciones secundarias. Alternan momentos cálidos y secos con precipitaciones concentradas, con momentos templados y ligeramente más húmedos. La ocupación es neolítica y termina siendo calcólica.

— Etapa 12 (Unidad 7). Erosión y sedimentación coluvionar, con carbonatación posterior y génesis de corteza estalagmítica, en un clima cálido y húmedo.

Esta secuencia muestra que en el yacimiento de la Cueva de Nerja están registrados los últimos momentos del Pleistoceno superior y gran parte del Holoceno, con varias etapas erosivas, algunas de gran intensidad. Una de estas etapas, la 6, situada entre las unidades litoestratigráficas 3 y 4, está marcada por una fuerte cicatriz erosiva, de origen fluvial, que en el Vestíbulo se rellena por aporte antrópico de valvas de moluscos, originando un conchero, y en la Mina aparece rellena por depósitos fluviales sobre los que yacen sedimentos finos ricos en valvas de moluscos. Las dataciones absolutas presentadas permiten situar con pre-

cisión esa etapa, entre los  $11.930 \pm 160$  BP y los  $10.860 \pm 160$  BP, lapso de tiempo en el que se encuentra el límite Pleistoceno superior-Holoceno. El tránsito del Tardiglacial al Postglacial se situaría en la base del conchero.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto «Investigaciones Prehistóricas en la Cueva de Nerja», subvencionado por el Patronato de la Cueva de Nerja, contando con el permiso administrativo de la Junta de Andalucía. Agradecemos a UBAR y a UGRA su diligencia en la realización de las dataciones absolutas, y a Federico Ramírez Trillo la delineación de la figura.

#### Referencias

- Aura Tortosa, J. E. (1986): *La Prehistoria de la Cueva de Nerja (Málaga)*, pp. 205-267.
- Aura Tortosa, J. E. (1989): *Tesis Doctoral*, Universidad de Valencia.
- Fumanal, P. (1986): *Trabajos Varios del S.I.P.*, nº 83, 208 pp.
- García Dueñas, V. y Avidad, J. (1981): *Motril, 1055, Mapa Geol. Esp. 1:50000 (2.ª serie)*, IGME.
- Hoyos Gómez, M. (1981): *R.A.C.E.F.N., P.I.C.G.*, 1, 63-75.
- Jordá Pardo, J. F. (1986): *La Prehistoria de la Cueva de Nerja (Málaga)*, pp. 39-97.
- Pellicer, M. y Acosta, P. (1986): *La Prehistoria de la Cueva de Nerja (Málaga)*, pp. 337-450.

Recibido el 1 de febrero de 1990  
Aceptado el 23 de febrero de 1990

## Caracterización mineralógica de los sedimentos actuales del río Nervión (Vizcaya)

M. J. Irabien\*, F. Velasco\*

\* Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apdo. 644. E-48080 Bilbao.

#### ABSTRACT

*The modern sediments of the Nervión River have been investigated in order to determine the mineralogical composition of the bulk sample, and the distribution of the clay minerals in the 2-20  $\mu\text{m}$  fraction and the  $< 2 \mu\text{m}$  fraction.*

**Key words:** *mineralogy, clay minerals, modern sediments, Nervión River, Vizcaya.*

*Geogaceta*, 8 (1990), 104-106.

REVISTA DE

# Arqueología

USA S. 6.00

AÑO X•N° 94•Febrero 1989

600 ptas. (Incl. I.V.A.)

Ecología y Arqueología... ¿materias contrapuestas?

Calcolítico en el Puerto de Santa María

"Las Burgas" y los orígenes de Orense

Informe: Método de análisis de fosfatos

Entrevista: Pío García-Escudero Márquez



VIENNA ROMA

EL LUJO DE LOS CESARES

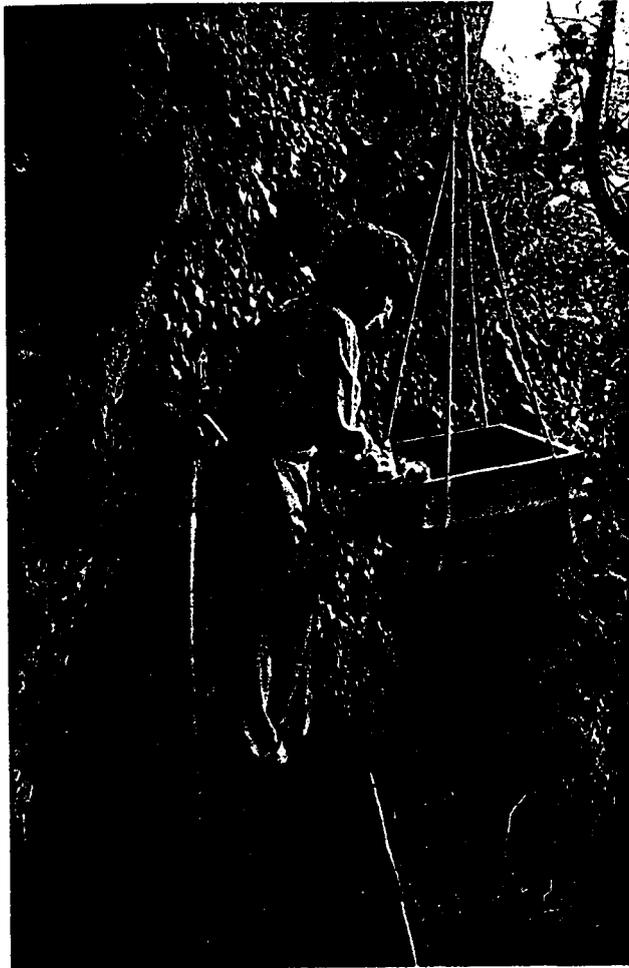


# Información nacional

## INVESTIGACIONES PREHISTORICAS EN EL ALTO VALLE DEL JARAMA

**D**urante el mes de septiembre de 1988 un equipo de prehistoriadores, geólogos y paleontólogos ha efectuado una serie de investigaciones en el Alto Valle del Jarama (Valdesotos, Guadalajara), encaminadas a lograr una mejor documentación y una mayor valoración de la secuencia prehistórica detectada en anteriores campañas. El equipo interdisciplinar, coordinado por J. F. Jordá Pardo, geólogo del Instituto Geológico y Minero de España, estuvo integrado por M. A. García Valero, C. Pérez Morales, M. Sánchez-Monge Llusá, R. Estrada García, licenciados en Prehistoria por las Universidades Complutense de Madrid, de Salamanca y de Oviedo, por F. Benito, estudiante de esta especialidad en la Universidad de Salamanca, y por B. Sánchez Chillón, paleontóloga, del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. También se contó con la inestimable colaboración de los prehistoriadores A. I. Ortega, J. Enamorado Rivero, y C. Díez Fernández-Lomana, de E. Cerdeño Serrano y B. Pérez Legido, paleontólogos, y de M. A. Alonso Diago, geóloga.

Uno de los objetivos a desarrollar en esta campaña fue la prospección sistemática de la zona del Alto Valle del Jarama donde las calizas cretácicas son cortadas y atravesadas por el río, conformando numerosas cavidades. Se localizaron y visitaron dieciocho cuevas y cinco abrigos, además de los ya documentados en anteriores campañas, cubriendo una extensión aproximada de doce kms. cuadrados. En una primera aproximación se pudo constatar la existencia de un yacimiento (Jarama VI) con restos óseos y líticos que demuestran una ocupación atribuible, por la morfología de su industria, al Pa-



Sistema de seguridad y cribado de tierras instalado en la cornisa de la cueva.

leolítico Medio. Excepcionalmente, se documentó un fragmento de lámina en cristal de roca, que presenta un retoque por presión, cuya adscripción se hace difícil dentro de este contexto.

El segundo objetivo llevado a cabo fue la finalización de la excavación del yacimiento Jarama II, de cuya primera campaña informamos

en esta publicación. (Rev. de Arqueol. núm. 61). En esta ocasión se actuó sobre una superficie de doce cuadrículas de un metro cuadrado, que comprendían la totalidad del sedimento fértil inexcavado. Además, se limpiaron los cortes efectuados en anteriores campañas. Para la realización de estas tareas fue necesaria la instalación

de una infraestructura de seguridad en la boca de la cavidad, dado su difícil y peligroso acceso, la cuadrícula aérea de la totalidad de la cueva y la colocación, en la cornisa exterior de ésta, de un sistema de tamizado consistente en una criba de triple malla.

La secuencia estratigráfica está compuesta por tres niveles que de muro a techo son: nivel detrítico inferior constituido por un conglomerado cementado, de cantos de esquisto y cuarcita englobados en una matriz arenosa de color rojizo, estéril arqueológica y paleontológicamente; nivel detrítico medio, limoso arenoso, con grandes cantos, sin consolidar, que contiene abundantes restos arqueológicos; corteza estalagmítica con cantos y bloques de caliza que contiene restos cerámicos encostado y que únicamente aparece en un área muy restringida.

La excavación se desarrolló siguiendo los niveles naturales y utilizando el método de Laplace (1973), pudiéndose constatar en la parte más interna de la cavidad un revuelto de materiales arqueológicos en el nivel detrítico medio, mientras que en el vestíbulo de la misma se documentó la existencia de materiales *in situ*.

Entre los materiales más antiguos destaca una azagaya en asta, de sección oval y con un bisel alto, que nos confirma la atribución del primer asentamiento de la cavidad al Paleolítico Superior, como ya se apuntaba en anteriores trabajos. A este mismo período se pueden adscribir algunos elementos líticos, como lascas, láminas y laminitas en sílex deshidratado.

En cuanto a los períodos postpaleolíticos, se constató la clara presencia de una estructura de piedras, a modo de muro, que junto con la ro-

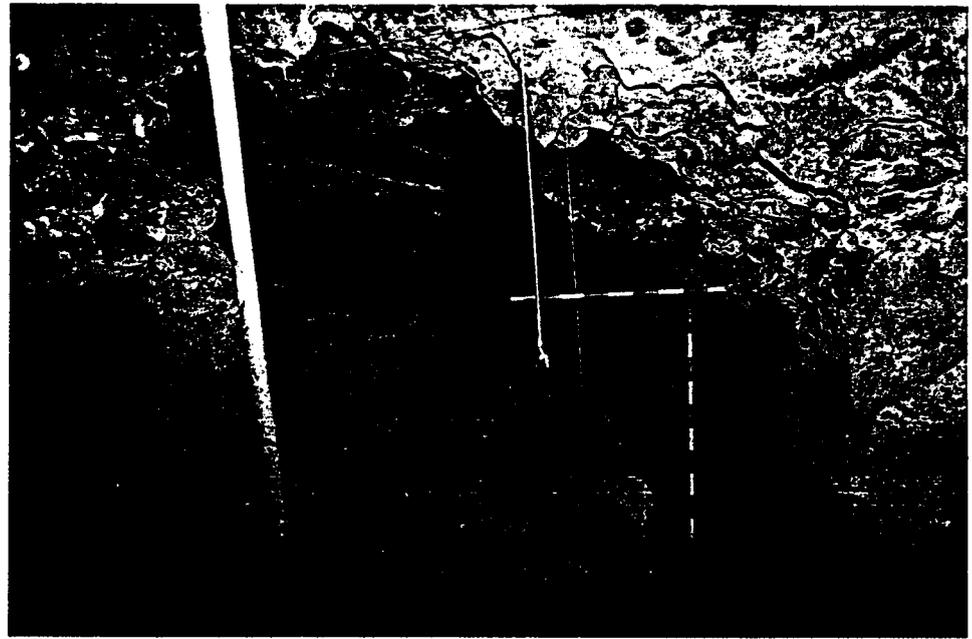
# Información nacional

ca de la pared, conformaba una zona preservada, en la cual se exhumaron restos humanos de al menos dos individuos, los cuales, junto con los materiales que aparecieron en el interior de dicha estructura, denotan la existencia de un enterramiento. Entre éstos destacan numerosos restos de industria ósea, como punzones sobre metápodo de ovicáprido, espátulas sobre diáfisis y agujas, restos líticos, entre los que se incluyen puntas de flecha, láminas de gran longitud, algunas con retoque continuo y pátina de uso, elementos ornamentales como cuentas de collar y colgantes de hueso y fundamentalmente, fragmentos cerámicos que, una vez reconstruidos y restaurados, constituyen al menos tres cuencos, tres ollas y una orza. La factura, morfología y tratamiento de las superficies de dichas piezas, junto con las industrias lítica y ósea, nos conducen a atribuir estos materiales en una primera aproximación a algún momento del Bronce Antiguo.

Entre los restos faunísticos exhumados aparecen representados la práctica totalidad de los grupos de vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos), destacando la presencia de ovicápridos, suidos, cérvidos y lagomorfos. Algunos indican claramente un aporte antrópico, mientras que otros pudieron ser introducidos en la cavidad por carroñeros y depredadores.

A la vista de lo anterior, se verifican las hipótesis planteadas en anteriores trabajos, que otorgaban una funcionalidad concreta a la cueva: un asentamiento probablemente ritual en el Paleolítico Superior, determinado por la presencia de una estatuilla de marfil que representa un posible glotón, y otro de la Edad del Bronce, que con absoluta certeza corresponde a un enterramiento múltiple y que incluye un interesante ajuar.

Todo esto permite constatar la importancia de este yacimiento al tiempo que abre

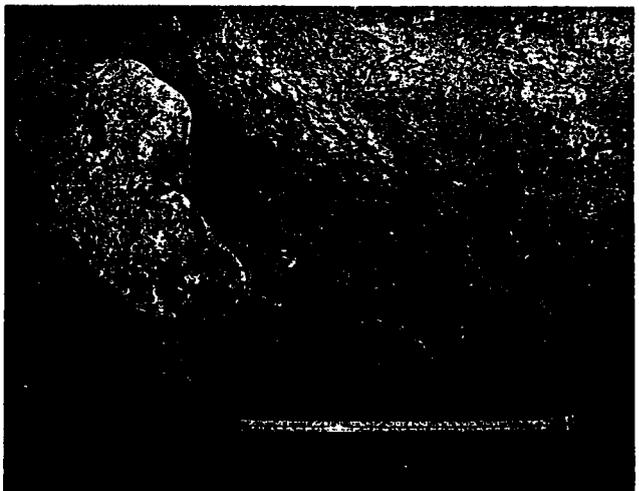


**Arriba y a la derecha: Aspecto parcial del interior de la cavidad al finalizar los trabajos. Abajo: Detalle de la excavación antes de exhumar unas piezas.**



nuevas expectativas en la investigación del Paleolítico Superior y de la Edad del Bronce en esta parte de La Meseta, en donde no están documentados exhaustivamente estos periodos. Además, hay que añadir la relevancia que aporta a la zona el descubrimiento de una cueva con un yacimiento del Paleolítico Medio, que esperamos estudiar en próximos trabajos que se realizarán dentro del Proyecto "Investigaciones Prehistóricas en el Alto Valle del Jarama", autorizado y subvencionado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, a quien agradecemos su activa e imprescindible colaboración.

**Jesús F. Jordá Pardo  
Miguel A. García Valero  
Catalina Pérez Morales  
Macarena Sánchez-Monge  
Rogelio Estrada García  
Fernando Benito  
Begoña Sánchez Chillón**



# REVISTA DE Arqueología

USA \$: 6.00

AÑO X•Nº 95•Marzo 1989

600 ptas. (Incl. I.V.A.)

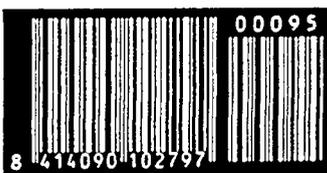
Informe: Cuantificación en Arqueología

Las cuevas de Ramales de la Victoria (Cantabria)

El acueducto romano de Cádiz

San Chuis, un castro asturiano excepcional

El museo arqueológico de Granada

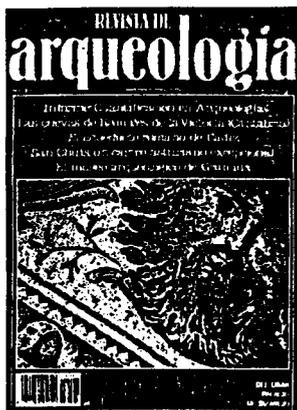


00095

# MOSAICOS

DEL GRAN  
PALACIO  
DE BIZANCIO

# SUMARIO



**PORTADA:**  
Mosaico del Gran Palacio  
bizantino de Estambul.

- 5** **INFORME: CUANTIFICACION EN ARQUEOLOGIA.** El análisis de las interrelaciones espaciales de los elementos arqueológicos, por Germa Wunsch, becario de la Universidad Autónoma de Barcelona.

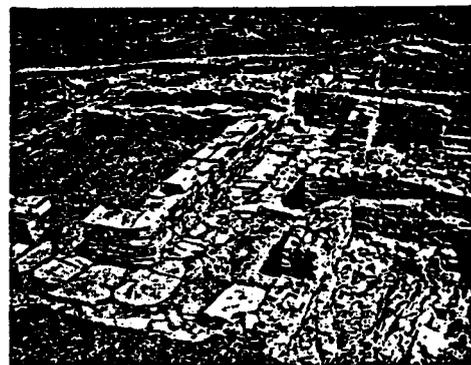
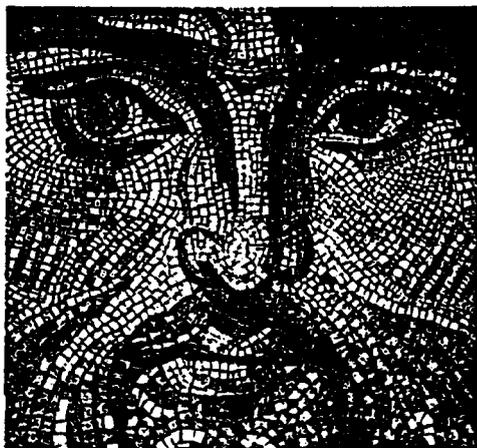


- 10** **LAS CUEVAS DE RAMALES DE LA VICTORIA (CANTABRIA)** por Alfonso Moure Romanillo y Manuel R. González Morales, Catedráticos de Prehistoria de la Universidad de Cantabria.

- 18** **EL ACUEDUCTO ROMANO DE CADIZ,** por Juan Antonio Fierro Cubiella.

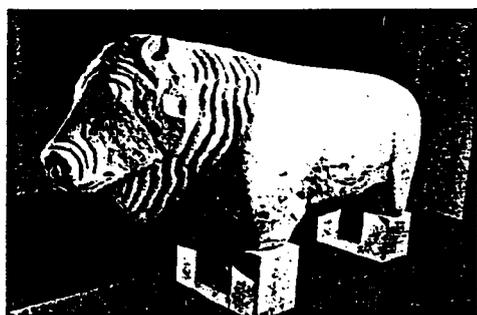


- 29** **EL MUSEO DE MOSAICOS DEL GRAN PALACIO DE BIZANCIO,** por J. M.ª Blázquez Martínez, M.ª Paz García-Gelabert y G. López Monteagudo.



**CONTRAPORTADA:** Fíbulas celtibéricas zoomorfas. Colección particular. Burgos. (Foto: Miguel A. López Marcos).

- 38** **EL CASTRO ASTURIANO DE SAN CHUIS,** por Francisco Jordá Cerdá, Jesús F. Jordá Pardo, F. Javier González Tablas, Elías Carrocera y Julián Bécares Pérez, miembros de las universidades de Salamanca y Oviedo.



- 50** **EL MUSEO ARQUEOLOGICO DE GRANADA,** por Angela Mendoza Eguaras.

- 60** **EXPOSICION: PIONEROS DE LA FOTOGRAFIA EN ASIA,** por Sylvia Ripoll.

- 62** **LA ARQUEOLOGIA EN LA FILATELIA.**

- 63** **INFORMACION NACIONAL.**

- 66** **CRITICA DE LIBROS.**



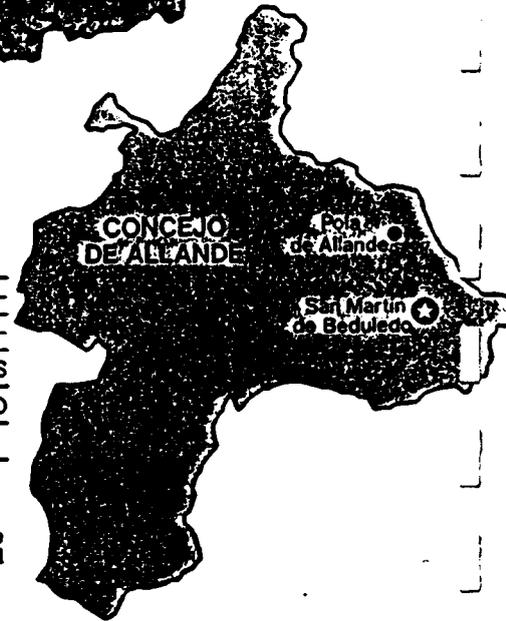
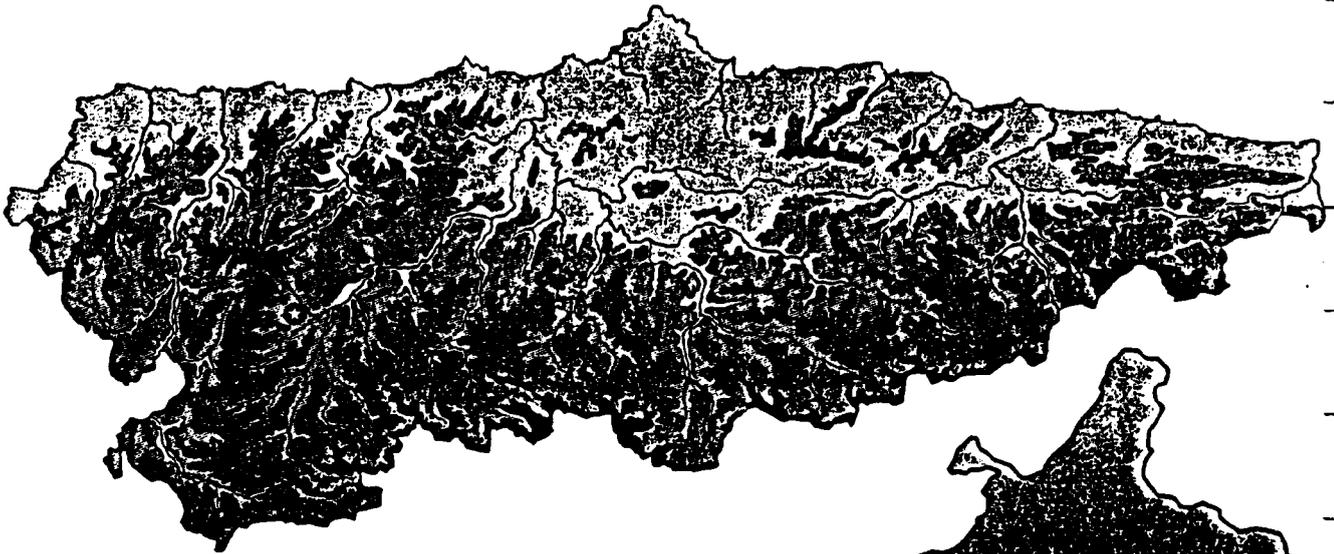
# EL CASIRO ASIURIANO DE SAN CHUIS

1930

1931

1932

1933



Los estudios que se están realizando en determinados yacimientos de la región astur ponen de relieve las características que conforman la "Cultura Castreña" asturiana. San Chuís es un buen ejemplo de ello y documenta el tipo de urbanismo y nivel alcanzado en la zona, sometida ya a control romano.

**E**l Castro de San Chuís se encuentra situado en las inmediaciones de San Martín de Beduledo, Parroquia de Santa María de Celón, localidades del concejo asturiano de Allande. Sus coordenadas geográficas son  $6^{\circ} 35' 20''$  (G.D.E.) de longitud W y  $43^{\circ} 13' 23''$  de latitud N, dentro de la hoja núm. 50 (Cangas de Narcea) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Su altitud sobre el nivel del mar varía entre 780 y 800 m, y su distancia a la costa en línea recta es de 35 km. Ocupa una extensión de unos 37.000 metros cuadrados, con una forma subcircular a ovalada, representando el eje mayor una dirección NS.

Esta enclavado en el pico más alto de un estrecho cordal de dirección NS, que separa los cursos de los ríos Abaniellas, Prada y de la Pola, en el vertiente izquierda de la cuenca del río Narcea, del que dista 6 km en línea recta. Este cordal pertenece al sistema orográfico de las Sierras del Valledor y de los Lagos, a través de las cuales se asciende al Puerto de El Palo, en la divisoria con la cuenca del Navia.

El dominio óptico del Castro es excelente, divisándose desde el los puertos de montaña que comunican la cuenca del Narcea con la del Nalón (Puerto de la Espina), del Duero (Puerto de Leitariegos), del Navia (Puerto de El Palo) y del Cantábrico (Puerto de Lavadoira).

Arriba: Situación geográfica del Castro de San Chuís. Abajo: Vista panorámica desde el barrio bajo.

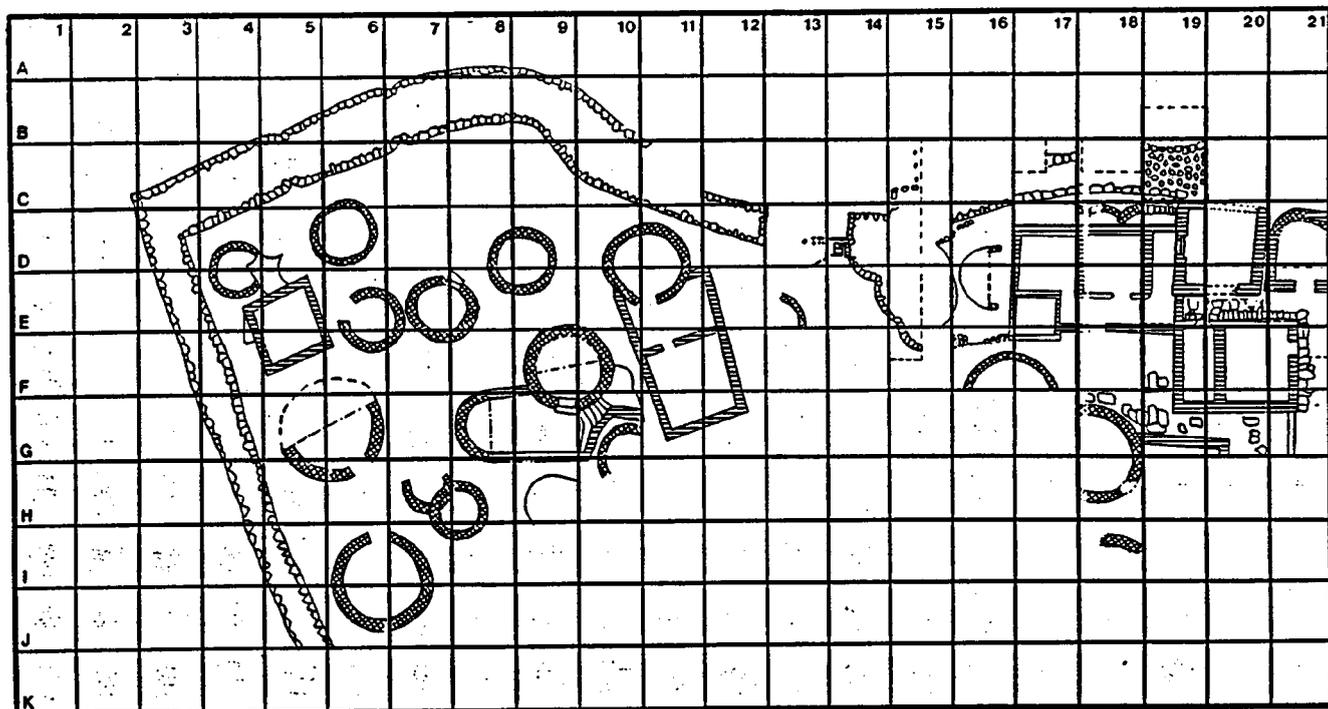


## HISTORIA DEL YACIMIENTO

El Castro de San Chuís fué descubierto por el Sr. Lombardía, paisano del lugar, que comunicó el hallazgo al Ayuntamiento de Pola de Allande. El día 23 de agosto de 1962 dieron comienzo los trabajos de la primera campaña de excavaciones a cargo de F. Jordá Cerdá y Elías Domínguez,

que continuaron al año siguiente en una segunda campaña (agosto de 1963). En estos trabajos se sacaron a la luz restos de estructuras circulares y cuadrangulares en el sector NE, así como la muralla del ángulo de este sector, apareciendo hacia el S una puerta compleja.

En 1979 se reanudaron las excavaciones sistemáticas, bajo la dirección



Arriba: Planta de las estructuras aparecidas durante las excavaciones del Castro de San Chuís (Delineación: L.M. Mata). A la izquierda: Un aspecto del barrio bajo.



del profesor F. Jordá Cerdá, realizándose hasta la actualidad un total de siete campañas, que se centraron en la ampliación de la antigua excavación hacia el S y W, y cuyos resultados expondremos a continuación. En estas excavaciones han intervenido e intervienen actualmente un amplio número de especialistas (arqueólogos, biólogos, geólogos, etc) de las Universidades de Salamanca, Oviedo, Santiago de Compostela, Málaga y Oporto, Colegio Universitario de Burgos y Museo Municipal de Vigo, los cuales han desarrollado diferentes trabajos de campo así como estudios posteriores, cuyos resultados se plasmarán en una futura publicación monográfica.

### DESCRIPCION DEL HABITAT

El Castro, de forma triangular, aparece ocupando el extremo de una pequeña sierra, por lo que sus defensas naturales son óptimas. Así, las vertientes NE y W muestran una fuerte pendiente, que unida al conjunto de tres fosos hacen inaccesibles dichos sectores. El flanco S, unión del pico con el resto de la sierra, presenta una mayor accesibilidad, por lo que está protegido por un sistema de cinco fosos asociados a parapetos.

El perímetro del Castro está rodeado por una muralla de unos 3 m de anchura y altura variable, con un máximo conservado de unos 3 m.

Esta construída en piedra seca mediante la técnica de yuxtaposición de módulos, localizándose en el sector E una puerta de complicado mecanismo, mientras que en el extremo S se levanta un bastión de grandes dimensiones, muy arruinado.

Los trabajos de acondicionamiento realizados en el Castro consisten en aterrazamientos a diferentes niveles, mientras que el suelo edificable sufrió procesos de eliminación de aristas rocosas, en función de su habitabilidad, a la vez que se niveló mediante un relleno de piedras y arcillas. La cimentación, en la mayoría de los casos, se hace sobre el sustrato rocoso, sobre el que se asienta directamente, levantándose las primeras hiladas con una anchura superior y con materiales más toscos que el resto del muro.

Los muros de las estructuras pétreas se pueden agrupar en tres conjuntos: uno constituido por muros levantados a base de hiladas de lajas de pizarra con la cara exterior perfectamente trabajada mientras que la interior es recibida con una masa arcillosa (escasos); un segundo que comprende muros de factura normal, con ambas caras bien trabajadas, levantados mediante superposición de hileras de lajas de pizarra (es el más abundante); un tercero que agrupa muros levantados a base de

# SAN CHUIS

grandes sillares de arenisca y porfiroide muy bien escuadrados y labrados (escasos).

En cuanto a los sistemas de cubrición, las únicas evidencias localizadas hasta el momento, son agujeros de poste próximos a las esquinas interiores de una estructura rectangular, y un gran número de gruesas lajas de pizarra perforadas en un extremo, que probablemente sirvieron de contrapeso en techumbres vegetales.

Entre los elementos accesorios de infraestructura destacan varios tramos de escaleras, calles pavimentadas con grandes losas y arcilla apisonada, aceras, un canal cubierto y pasantes en los muros.

Los elementos de uso doméstico mas comunes son los molinos, de granito, las piedras con cazoleta, de arenisca y porfiroide, los hogares limitados por bloques alargados de pizarra, con losas de pizarra y/o placas de tégula, y alacenas y bancos en el interior de las estructuras.

## URBANISMO

Según lo excavado hasta el momento, en el Castro de San Chuis existen dos zonas bien diferenciadas en función principalmente de sus estructuras arquitectónicas: son los llamados barrio bajo y barrio alto.

El barrio bajo, situado en el ángulo NE esta caracterizado por el predominio de las estructuras circulares, situadas de forma desordenada, con un claro aspecto indígena, mientras que en el barrio alto el predominio lo ejercen las estructuras rectangulares formando una especie de complejo urbanístico de características romanas, con orientaciones de muros y calles en dirección NS y EW.

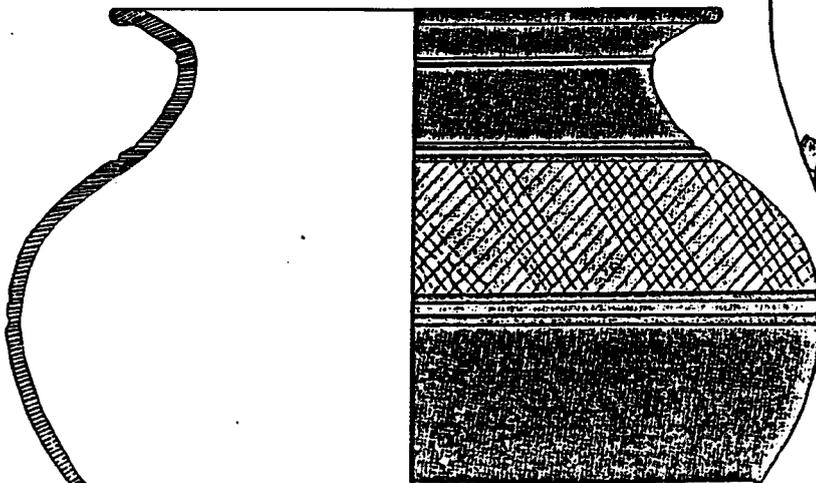
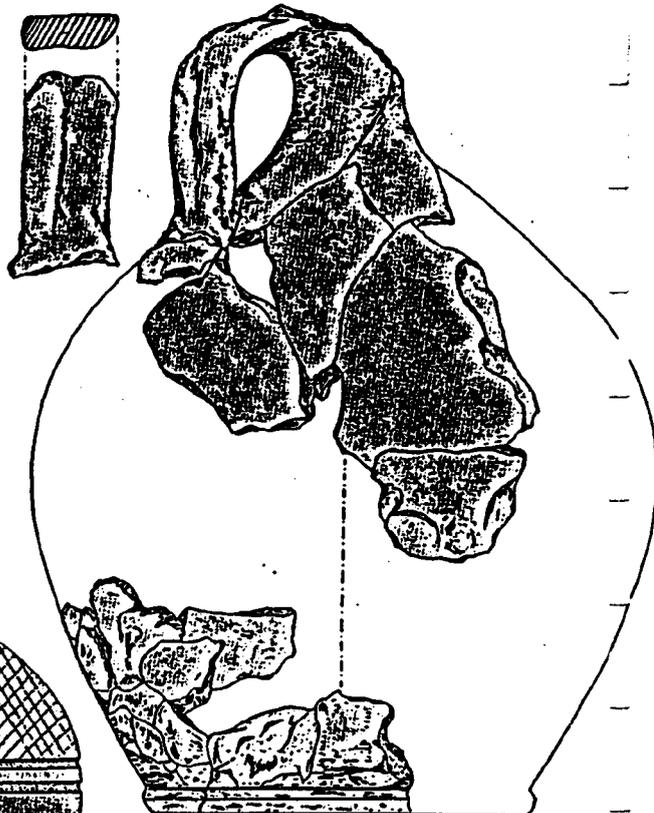


En ambas zonas se da una clara superposición de los paramentos rectilíneos, traducidos en estructuras cuadradas o rectangulares, sobre los curvilíneos, lo cual, creemos, es claramente demostrativo a la hora de diferenciar momentos cronológicos en la periodización, a la vez que representa el único ejemplo verdaderamente tangible que apoye la búsqueda de una primera etapa indígena

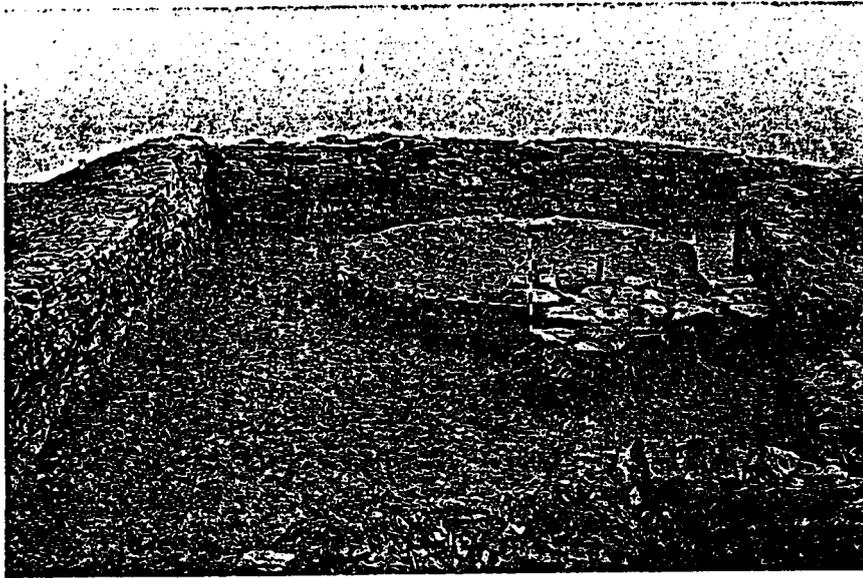
anterior a la conquista romana. Esto restringe la posibilidad de que el Castro se trate de un yacimiento de nueva planta que imite las formas castreñas indígenas.

En el barrio bajo se han exhumado 15 estructuras circulares y una sola cuadrangular, superpuesta a dos de las anteriores. Además aparecen dos remodelaciones de estructuras circulares a las que se les ha añadido

Arriba: Torreron cuadrangular en el barrio bajo. A la derecha: Jarra tardía del Castro de San Chuis.



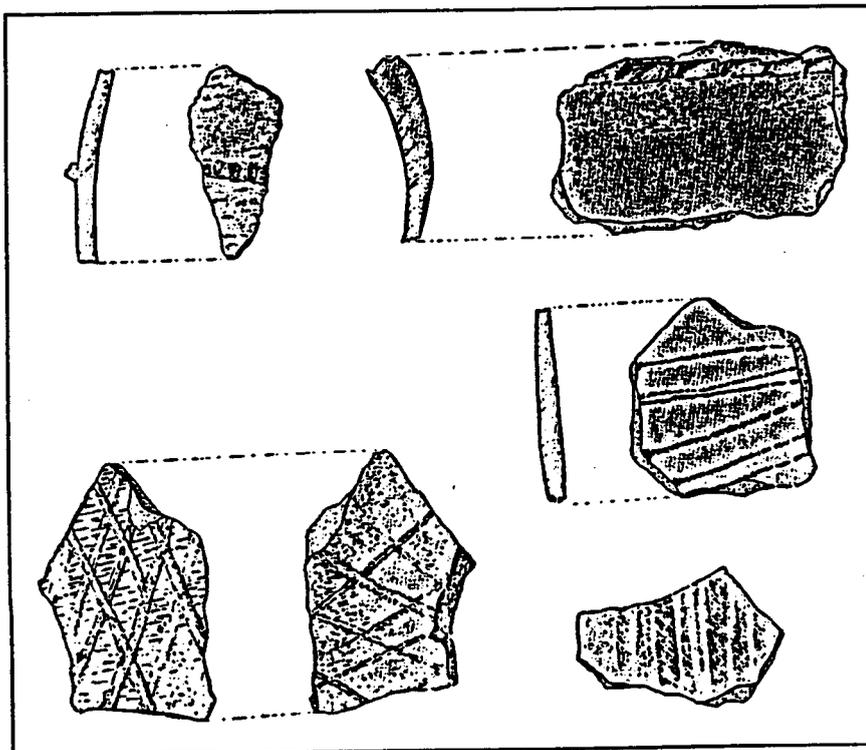
Olla con decoración de retícula bruñida.



muros rectilíneos, formando estructuras complejas con varias habitaciones. En el barrio alto aparecen 3 estructuras circulares, una de ellas arrasada al construir el complejo de estructuras rectangulares y dos remodeladas con muros rectilíneos añadidos, y destaca por su complejidad una macroestructura varias veces remodelada constituida por un mínimo de 8 estructuras menores rectangulares, que pueden formar lo que se denomina una casa-patio.

Como estructura arquitectónica destacada podemos mencionar la situada en la parte S del barrio bajo, a media pendiente, constituida por una habitación circular, a la que se le

ha añadido por delante de su puerta una estructura rectangular dividida en dos habitaciones. La mencionada habitación redonda se encuentra totalmente entosada por grandes lajas de pizarra, situándose en el centro un banco corrido alrededor de un hogar de tégula y pizarra limitado por bloques alargados de esta roca. Además aparece una especie de poyo de sillarejo de pizarra adosado al muro y una piedra con cazoleta enterrada a ras del entosado en el borde N de la citada habitación. Estructuras similares a esta aparecen descritas en las Fuentes Clásicas (Estrabon III), por lo que su interés es máximo.



En el barrio alto destacan por su espectacularidad las dos habitaciones contiguas con fachada de sillares de arenisca y porfirioide perfectamente escuadrados y labrados, cuya esquina NE aparece con forma circular, apoyada sobre una cimentación en ángulo.

## MATERIALES

### CERAMICA

#### Cerámica común.

Es la más abundante y sus formas son bastante homogéneas en los diferentes niveles, estando en general elaboradas a torno, pero con aspecto muy tosco. Las pastas difieren según el tipo de cocción que no parece muy alto, ofreciendo un aspecto hojaldrado y una coloración entre rojo y gris, o bien beige y naranja. Suelen ser pastas duras y a medio cocer, con un desengrasante visible de cuarzo y micas.

El trato exterior de las cerámicas no es muy esmerado, apareciendo alisadas, peinadas, pulidas o bruñidas, tanto por fuera como por dentro, ya sea en una cara o en ambas a la vez. En piezas más esmeradas aparece el engobe, ligeramente más oscuro. La decoración no es frecuente ni variada, predominando las líneas bruñidas en el interior o exterior, o las acanaladuras también internas o externas, y los baquetones. Menos abundante es la incisión, y aún menos, la pintura, que aparece en muy escaso número de piezas.

Atendiendo bien a sus formas o a su decoración podemos clasificar la cerámica común en los siguientes tipos:

#### A. Según sus formas:

1. Ollas de cocina. Pueden ser de diámetro grande o pequeño, y con los bordes hacia fuera o hacia dentro.
2. Vasijas con decoración bruñida.
3. Boles -cuencos, o bien cuencos -fuentes.
4. Platos.
5. Imitaciones de "rojo pompeyano".
6. Jarras.
7. Fondos.

#### B. Según su decoración:

1. Incisión (1.a. Bruñido; 1.b. Incisión punzante).
2. Molduras y acanaladuras.
3. Decoración plástica.
4. Impresión.
5. Cerámica pintada.

Arriba: Superposiciones de estructuras en el barrio bajo. A la izquierda; Diferentes tipos de decoraciones de la cerámica común del Castro de San Chuis.

## SAN CHUIS

Cerámica de importación: 'terra sigillata'.

La cerámica de importación encontrada en el Castro de San Chuis es *Terra sigillata hispánica*, que aparece escasamente y mal conservada por las características de humedad y acidez del terreno. Son fragmentos muy rodados, con el barniz en muy malas condiciones, que aparecen en los niveles III y IV prácticamente sin cronología diferenciada entre ambos. Se han identificado las formas Drag. 15/17 y Drag. 35 en el nivel IV, y en el nivel III, las formas Drag. 4/5 y Drag. 37. En un fragmento de fondo de esta última se aprecia un grafito cercano al ónfalo que reza con el nombre de (C) (I) «LPVRN / ».

Entre las decoraciones destacan la vegetal, animal y geométrica, junto con la figuración humana. Son corrientes los rulos concéntricos vacíos o conteniendo algún motivo animal (cabra, ¿grifo · león?).

### ELEMENTOS PETREOS.

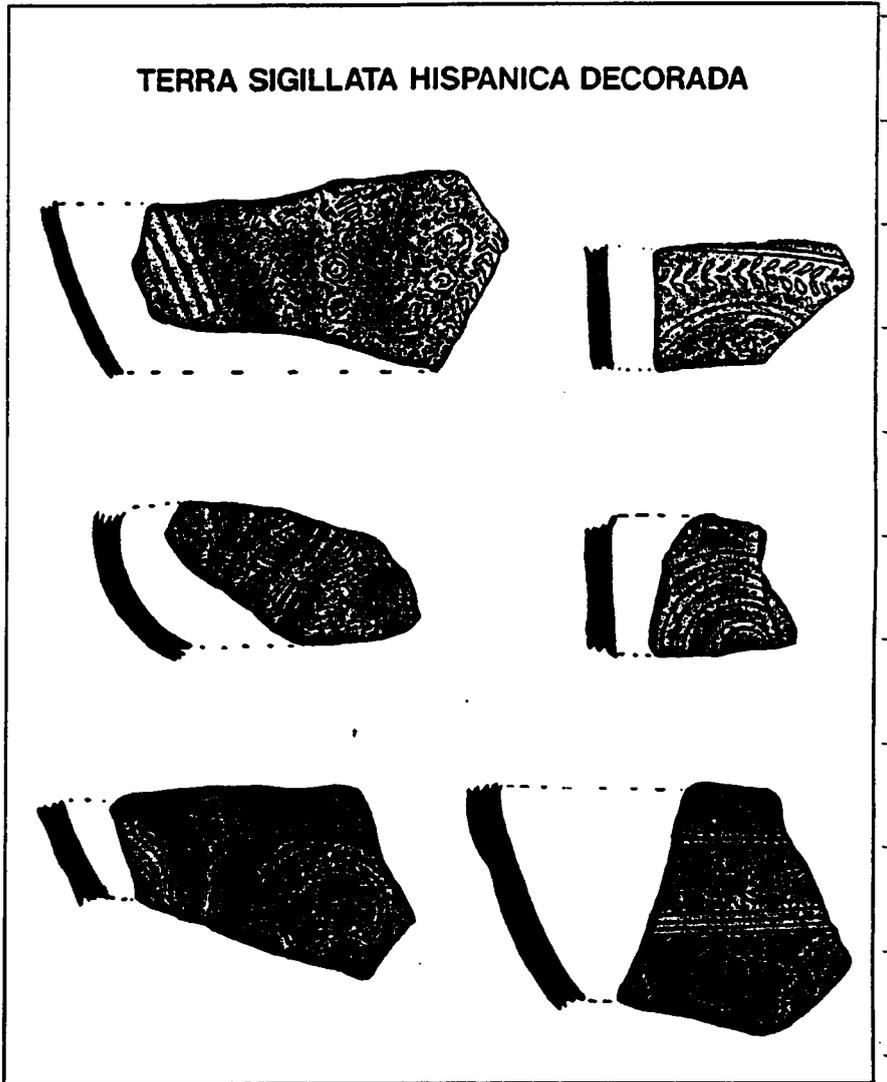
Los elementos pétreos encontrados en el Castro de San Chuis son muy variados destacando una cabeza labrada en granito, muy tosca, que representa un posible Hermes, así como varias piezas de piedra con cazoletas de pequeño tamaño, con líneas repiqueteadas. También se han encontrado fragmentos de gran tamaño de un posible dintel de piedra decorado con pequeñas cazoletas y líneas entrelazadas. El resto de los elementos pétreos lo constituyen numerosos fragmentos de molinos de tipo circular y barquiforme, y dos piedras con cazoleta, de gran tamaño, aparecidas *in situ*, una en el centro de una habitación rectangular del barrio alto y la otra en la habitación redonda del complejo antes descrito del barrio bajo.

Como hecho a destacar dentro de las técnicas de elaboración de elementos pétreos, podemos mencionar la existencia de marcas muy claras de cinceles metálicos en los sillares de arenisca de las estructuras del barrio alto y en algunos umbrales de pizarra.

### ELEMENTOS METALICOS

Los elementos metálicos son muy escasos y mal conservados predominando los de hierro sobre los de bronce, de los que solo contamos con un pequeño arete y un deteriorado punzón o aguja. Entre los restos de hierro aparecen numerosos clavos de puertas, remaches, fragmentos de

### TERRA SIGILLATA HISPANICA DECORADA



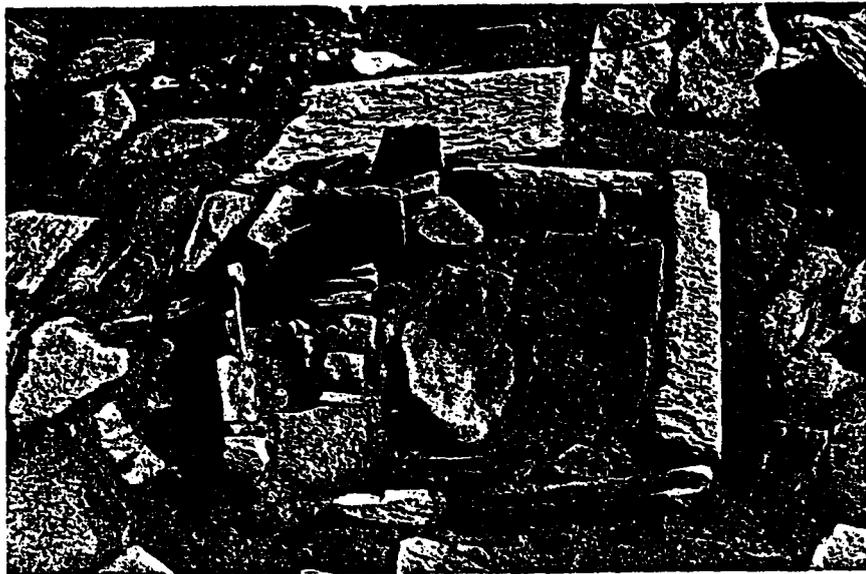
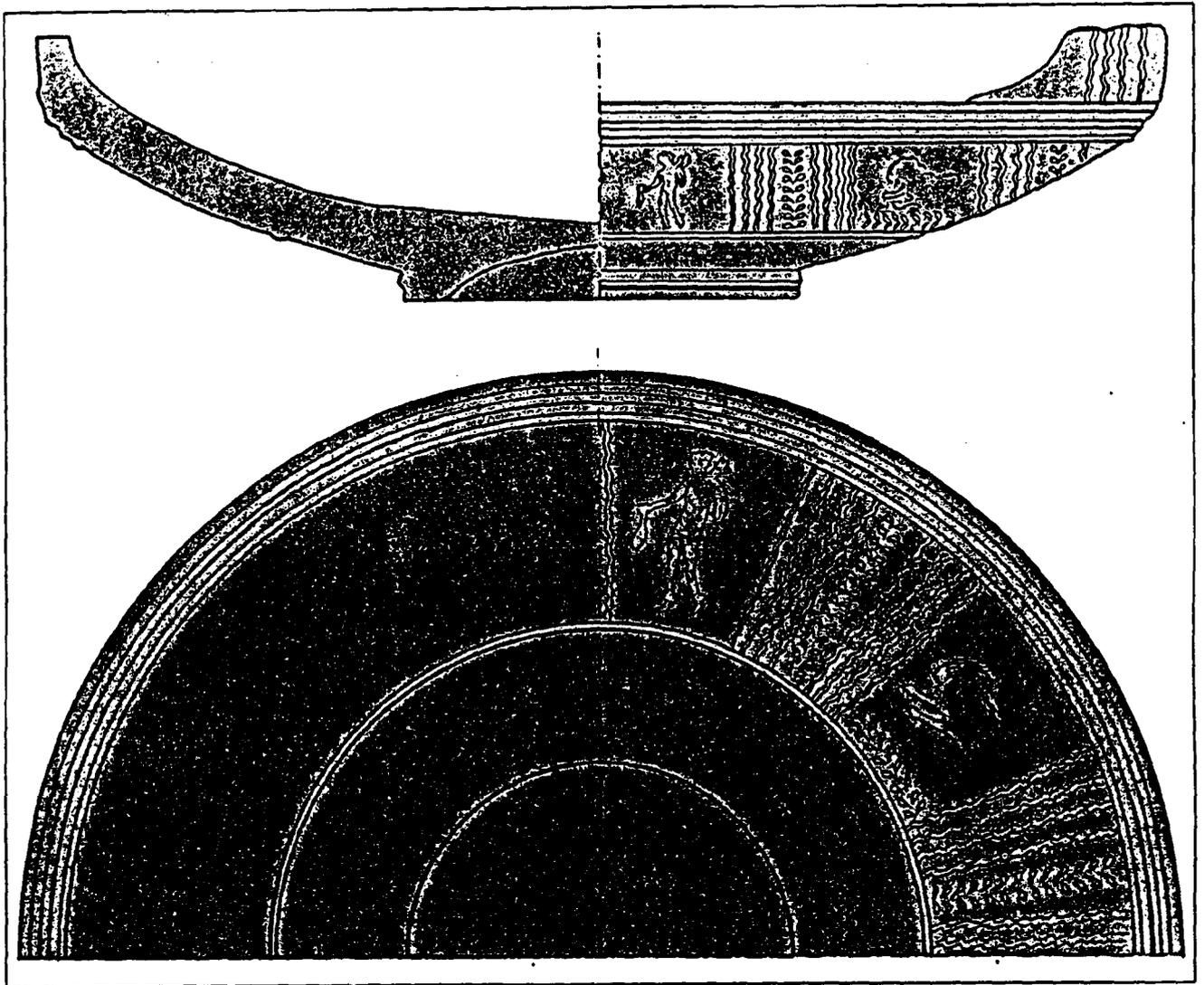
Estructura circular con pavimento, banco y hogar.

hebillas de cinturones y algunas láminas muy desagradadas.

Cabe destacar la aparición de una moneda muy gastada del emperador Tiberio.

### RESTOS FAUNISTICOS Y VEGETALES

Por efecto de la acidez del terreno y del grado de humedad, los restos



Hogar en la estructura anterior.

faunísticos aparecen muy esporádicamente y con una mala conservación, perteneciendo los pocos fragmentos recuperados a un mínimo de tres individuos de vaca doméstica

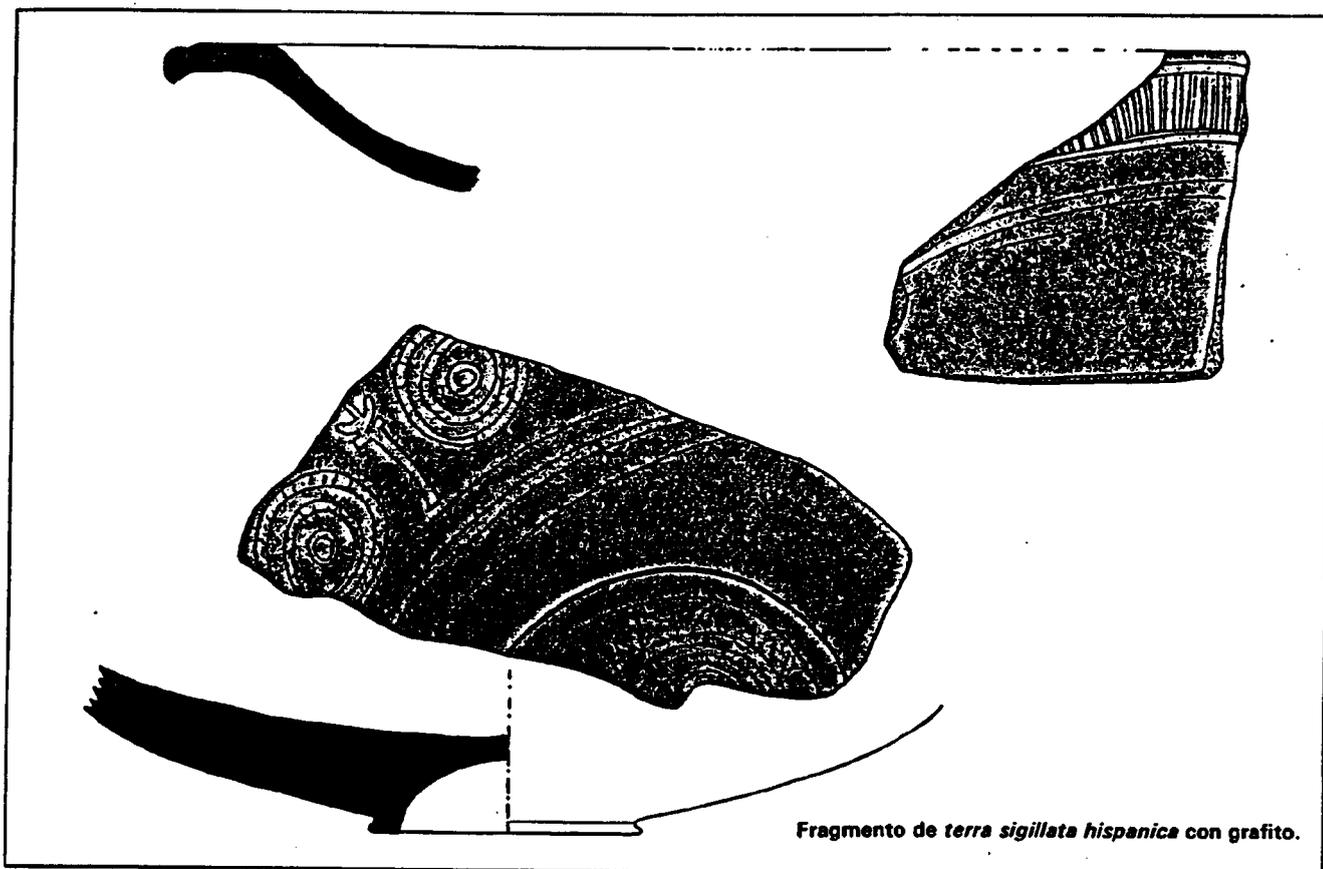
(*Bos taurus*) de pequeña talla, y a un suido (*Sus scrofa*), que podría ser un pequeño cerdo doméstico mas que un jabalí (Soto, E., informe no publicado).

Los restos vegetales, actualmente en estudio, corresponden a fragmentos de maderas carbonizadas de árboles y arbustos, que en muchos casos pudieron pertenecer a la techumbre de las edificaciones, que cayó en el interior de estas una vez incendiado y arruinado el castro.

#### CRONOLOGIA

A la hora de establecer una cronología para el Castro de San Chuís nos encontramos con que la escasez de materiales no permite una gran precisión, si bien trataremos de hacer un ensayo cronológico en base a elementos concretos como la *terra sigillata*, la moneda y un fragmento de cerámica gris tardía con decoración estampillada.

Entre la *sigillata* nos encontramos con las formas Drag. 15/17 y Drag. 35 en el nivel IV, que nos lo sitúan entre el siglo I y II d.C. (Mezquiriz, 1961), datación corroborada por los hallazgos de las primeras campañas, como es la Drag. 24/25, cuya cronología no va mas allá de los años 60-70 d.C., y

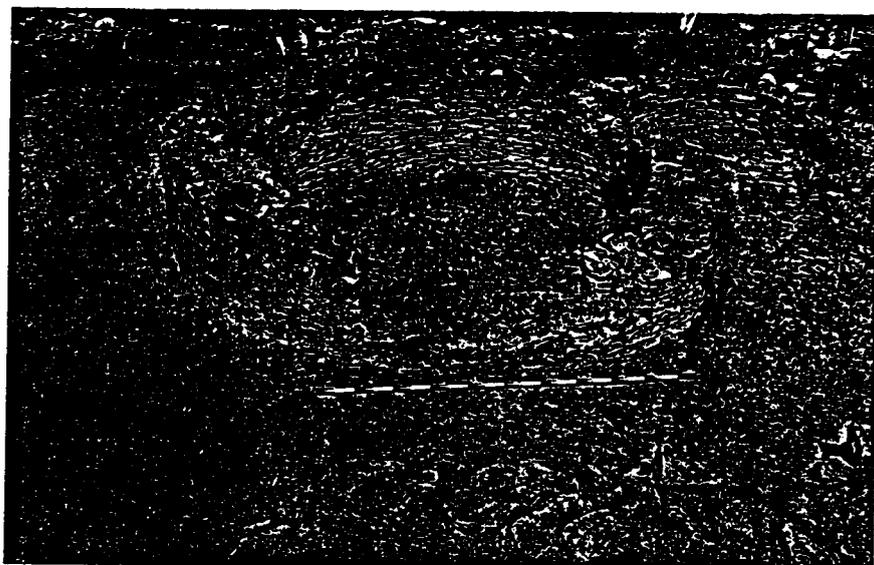


Fragmento de terra sigillata hispánica con grafito.

Puerta con umbral en una estructura circular del barrio bajo.

los vasos de paredes finas datados hacia la mitad del siglo I d.C. en adelante, formas XI, XL, XLV de Mayet (1975), cuya introducción pudiera estar relacionada con el comercio meseteño si contamos con la aparición del importante alfar de Melgar de Tera (Zamora). La fecha más aproximada para el nivel IV quedaría situada hacia mediados del siglo I d.C., contando además con la mencionada moneda fechada inmediatamente después al año 22 d.C. El tiempo de habitación pudo alargarse de manera continuada a lo largo de todo ese siglo y parte del II, considerando las sucesivas remodelaciones urbanas y arquitectónicas así como el material más tardío que aparece en el nivel III, constituido en su mayoría por derrumbes de muros y materiales revueltos.

Este nivel III contiene fragmentos de las formas Drag. 37 y Drag. 27, así como de la Drag. 29 aparecidos en las campañas iniciales. Su cronología es bastante amplia, del siglo I al IV, no obstante algunas de las decoraciones de la forma Drag. 37 podrían situarla en la mitad del siglo II (Manzano Hernández, 1985), hecho apoyado por los abundantes paralelos encontrados en las coronas de Quin-



tanilla y Huerña, datadas en los siglos I y II (Domergue y Sillieres, 1977).

El último nivel fértil, situado entre los niveles arqueológicos III y II, contiene piezas de cronología tardía, como imitaciones de *sigillata* clara, cerámicas con características tardo-romanas, y un fragmento de cerámica gris paleocristiana con decoración de rulos impresos (Manzano Hernández, 1985). Esta última, estaría dentro de una cronología del siglo III d.C. al VI d.C. (Mañanes, 1979). Otras piezas con interés cronológico son dos jarras, con paralelos próxi-

mos en la jarra trilobulada de Coaña y en las jarras del campamento romano de Cidadela (La Coruña), datado éste entre la segunda mitad del siglo III d.C. y el siglo IV (Caamaño Gesto, 1984). Jarras del mismo tipo aparecen al N de Portugal en necrópolis de algunas citanias, con una cronología del siglo IV (Ferreira de Almeida, 1974).

## CONCLUSIONES

A la hora de hacer una valoración del Castro de San Chuís conviene



*Arriba: Paramento de sillares y enlosado sobre canalización en el barrio alto. A la izquierda: Remodalaciones en la "casa patio".*



guan los castros de la Valduerna y el Caurel (Sánchez Palencia, 1983), así como la existencia de varios distritos mineros entre los que se encuentra el de Pola de Allande.

Contando con estos hechos, es lógico pensar que la ocupación del Castro tuvo relación directa o indirecta con el desarrollo de las explotaciones mineras, al menos en el momento del auge de esta ocupación, coincidiendo con los hallazgos de época Flavia, en la que la prospección y producción aurífera en el NW recibe un gran impulso (Fernández Ochoa, 1982).

El contexto romano del Castro esta perfectamente constatado ya desde el siglo I, lo que lo situaría dentro del período castreño reciente de Ferreira de Almeida (1983). Las diferentes fases constructivas observadas corresponderían a otros tantos momentos de ocupación, traducidos en una continuidad cronológica durante poco más de un siglo, que representa la etapa de más pujante desarrollo del castro, sin descartar la posibilidad de una ocupación tardía y de carácter momentáneo, según se desprende de las excavaciones.

tener en cuenta una serie de hechos que consideramos claves para comprender su funcionalidad, desarrollo y abandono. En primer lugar destaca la situación geográfica del Castro, en el sistema orográfico de las Sierras del Valledor y de los Lagos y cercano a los Puertos del Palo y Lavadoira, zona rica en explotaciones mineras romanas, especialmente auríferas, cuya existencia esta perfectamente constatada (Diego Santos, 1977; Sánchez Palencia, 1983). Por otro lado, el Castro domina visualmente una amplia zona y numerosos puer-

tos de montaña, por lo que serviría como elemento importante dentro de una ocupación básicamente militar.

Todo ello nos induce a pensar que el Castro de San Chuís, si bien no se trata de un asentamiento básicamente minero, si podría tratarse de un asentamiento con un carácter marcadamente administrativo y castrense, en la misma línea que otros castros, como el cercano ejemplo de la Corona de Corporales (Sánchez Palencia, 1983). Merece destacar su relación directa con el comienzo de la minería en la zona, como lo atesti-

## SAN CHUIS

Así, podemos hablar de tres fases principales en la ocupación del Castro (Manzano Hernández, 1985): la primera marcada por un presumible asentamiento indígena representando en el nivel VI cuyo carácter referencial nos hace mantener cierta discrección al respecto; la segunda fase, más clara, con una ocupación romana evidenciada por las construcciones pétreas y por los materiales arqueológicos, desarrollada desde la primera mitad del siglo I d.C., y con una función predominantemente militar, de explotación directa y protección de los cotos mineros cercanos (Roldán Hervás, 1983); la tercera fase, caracterizada por las remodelaciones arquitectónicas, situaría el Castro en un cambio de circunstancias político-administrativas, ligado a un proceso de transformaciones socioeconómicas dentro de la época Flavia, con una disminución de la presión militar y una mayor actividad administrativa.

Finalmente queda por dilucidar si el levantamiento del Castro fue iniciativa únicamente romana, o por el contrario se aprovechó un asentamiento indígena óptimamente situado, para la explotación del territorio. De hecho, el carácter indígena del Castro esta patente, tanto en el hasta el momento poco conocido nivel VI, como en las numerosas estructuras de tipo indígena que aparecen infrapuestas a las claramente romanas. En este sentido, lo aquí expuesto no es más que una aproximación al conocimiento del Castro de San Chuís, dado que, como hemos visto, aún quedan muchas incógnitas por desvelar, a la espera de realizar próximas campañas de excavaciones sistemáticas y de obtener nuevos datos de los estudios y análisis en curso de realización.

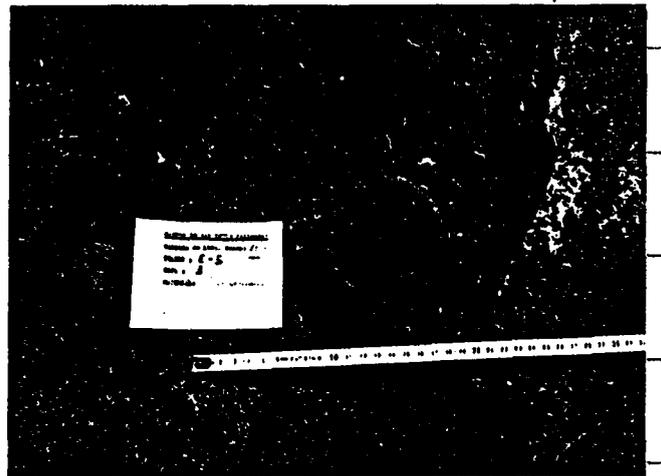
Todo lo aquí expuesto no muestra al Castro de San Chuís como un yacimiento clave a la hora de conocer mas exhaustivamente la Cultura Castreña del occidente asturiano, hecho que se verá verificado por las actuales y futuras investigaciones.

### BIBLIOGRAFIA

- CAAMAÑO GESTO, J.M., (1984), "Excavaciones en el campamento romano de Ciudadela (Sobrado dos Monxes)", N.A.H., núm. 18, Madrid.
- DIEGO SANTOS, F., (1977), "Asturias Romana y Visigoda", Historia de Asturias, vol. 3, Ayalga Ediciones, Gijón.



Arriba: Puerta con umbral en estructura cuadrangular del barrio alto. A la derecha: Fondo de cerámica aparecido en el transcurso de la excavación.



- DOMERGUE, C. y SILLIERES, P., (1977), "Minas de oro en la provincia de León. I-II", A.E.A., núm. 93-94, Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos, Madrid.
- FERNANDEZ OCHOA, C., (1982), "Asturias en la época romana", Monografías Arqueológicas, núm. 1, Universidad Autónoma, Madrid.
- FERREIRA DE ALMEIDA, C.A., (1974), "Cerámica Castreja", Revista de Guimaraes, LXXIV, Guimaraes.
- FERREIRA DE ALMEIDA, C.A., (1983), "Cultura Castreja. Evolución e problemática", Arqueología, núm. 8, Porto.
- MANZANO HERNÁNDEZ, M. P., (1985), "Aportaciones al estudio de la Cultura Castreña en el occidente asturiano: La cerámica del Castro de San Chuís", Tesis de Licenciatura, Universidad de Salamanca, 157 pp, Salamanca.
- MAÑANES, T., (1979), "La cerámica tardorromana visigoda, anaranjada y gris con decoración estampada en la España Noroc-

cidental", Boletín del Instituto Tello Tellez de Meneses, núm. 43, Palencia.

- MARCOS, A., (1973), "Las series del Paleozoico Inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España)", Trabajos de Geología, núm. 6, Oviedo.
- MAYET, F., (1975), "Les céramiques à parois fines dans la Péninsule Ibérique", Paris.
- MEZQUIRIZ DE CATALAN, M. A., (1961), "Terra sigillata", I y II, Publicaciones de Arqueología Hispánica, Valencia.
- ROLDAN HERVAS, J.M., (1983), "El ejército como factor de romanización en Asturias", Indigenismo y Romanización en el Conventus Asturum, Ministerio de Cultura y Universidad de Oviedo, Madrid.
- SANCHEZ PALENCIA, F.J., (1983), "Explotaciones auríferas en el Conventus Asturum", Indigenismo y Romanización en el Conventus Asturum, Ministerio de Cultura y Universidad de Oviedo, Madrid.



# METODOLOGIA UTILIZADA EN LA REALIZACION DEL MAPA DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD SISMICA EN ALCOY. (M.P.V.S.). APLICACIONES

MULAS DE LA PEÑA, J.

Area de Ingeniería GeoAmbiental.

## RESUMEN

La comunicación presenta el planteamiento seguido para la evaluación de la Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica en la ciudad de Alcoy, en lo que respecta a la metodología para la realización del mapa que denominamos por las siglas (M.P.V.S.). También se exponen las aplicaciones del mismo para la adopción razonada de diferentes medidas de ordenación en el ámbito urbano y la influencia de dichas medidas en las consideraciones de los planes de actuación para el caso de catástrofe sísmica.

*Palabras clave:* vulnerabilidad, peligrosidad, microzonación, metodología, Alcoy.

## ABSTRACT

In this paper, the methodology used for the evaluation of the Seismic Hazard and Vulnerability in the city of Alcoy is presented. The applications of this type of maps in order to adopt general urban planning measures are also considered, as well as the influence of these emergency measures in the case of earthquake catastrophes.

*Key words:* vulnerability, seismic hazard, microzonation, methodology, Alcoy.

## I. INTRODUCCION

Es cada día mayor el conocimiento y mejores las técnicas aplicadas por los países económica y tecnológicamente avanzados, en aquellas ciudades del mundo con problemas importantes de riesgo sísmico. El interés en la experimentación y puesta a punto de métodos de microzonación es creciente, así lo demuestra la convocatoria para la 4ª Conferencia Internacional sobre Microzonación a celebrarse en California en 1991. A pesar de esto no existen todavía métodos universales que aborden con resultados útiles esta problemática (peligrosidad-vulnerabilidad sísmica); si bien en algunos aspectos de la peligrosidad en áreas muy localizadas (una ciudad, una central nuclear, una presa, etc) se han conseguido algunos resultados con distintas técnicas, como son: Tratamiento de registros (red de acelerómetros), simulaciones en condiciones muy controladas y modelización por elementos finitos. En cambio en los aspectos de vulnerabilidad de

ciudades, el número de incertidumbres, interacción estructuras-suelo, etc) son tan grandes y tan complejas muchas de ellas que no existen técnicas formales que den resultados de cierta utilidad; el camino que se suele seguir es básicamente el análisis retrospectivo de los daños por terremotos pasados (vulnerabilidad observada) y correlacionarlos con situaciones parecidas a las existentes en la actualidad que permita estimar la respuesta (vulnerabilidad potencial) a los terremotos del futuro.

El método que se ha utilizado en la ciudad de Alcoy tiene carácter adaptativo a la problemática del fenómeno sísmico en el área. Previamente al desarrollo del mismo se hizo una recopilación, una revisión crítica y una clasificación de la información disponible (Sismicidad, Neotectónica, Historia de Terremotos locales, Estadística municipal, etc).

Una vez realizada esta fase previa, el método (Fig 1) concretamente lo componen dos fases: Una primera donde se cartografía los aspectos de la Peligrosidad Sísmica en base a los factores locales de Amplificación por un lado y por otro los Elementos Vulnerables (zonificación de tipología de edificaciones, líneas de vida y edificios singulares). La segunda fase consiste en la superposición de las cartografías anteriores y la utilización de la hipótesis que llamamos de "vulnerabilidad" con el fin de hacer más aplicable y más claro el mapa resultante (M. P. V. S.).

## 2. PELIGROSIDAD, FACTORES DE AMPLIFICACION

Tanto la crónica histórica y la experiencia de observación directa e instrumental, atestiguan la diferente respuesta ante la acción sísmica en función de los factores de amplificación de cada zona: Los daños desiguales producidos por un terremoto en construcciones similares dentro del caso urbano de ciudades afectadas, por terremotos y el análisis de los diferentes registros (acelogramas, etc) (Fig 2) que se han hecho en distintos puntos de un área, son claros ejemplos de las variaciones que se producen en las características del movimiento y en el contenido de frecuencias, que sufren los trenes de ondas sísmicas al atravesar los distintos tipos de suelos. Un cambio de litología, espesor, grado de fracturación, relieve, nivel freático y fenómenos asociados y, como consecuencia, un cambio de la respuesta dinámica de los suelos conlleva una diferente reacción de estos a las acciones sísmicas. En este trabajo se ha microzonado la peligrosidad en la ciudad de Alcoy en base a la superposición de las distintas zonificaciones según escalas relativas a cada factor. El resultado es una cartografía que evalúa con carácter cualitativo: zonas con más amplificación zonas con menos amplificación, el nivel básico estimado de peligrosidad para el área de Alcoy (macrozonación).

Se han diferenciado en el área de estudio nueve zonas en función de sus características geotécnicas (Mapa geotécnico y de riesgos de Alcoy y sondeos realizados). Integrando todos estos datos (restricciones geológicas en la construcción, rellenos antrópicos, valores medios del SPT de cada zona, presencia de niveles alternantes de consistencia variable, etc.), se ha procedido a asignar a cada una de las zonas en las que se ha dividido, un valor entre 1 (mejor) y 5 (peor).

### Elementos neotectónicos

Se realizó una cartografía de estos elementos a escala 1/18.000, del área, no pudiéndose sacar conclusiones sobre la posible potencialidad (amplificación) de los elementos cartografiados. No habiéndose detectado posibles fracturas ni accidentes dentro de la cuenca sedimentaria que afecten al casco urbano de Alcoy.

### Topografía

La ciudad de Alcoy se encuentra situada sobre una hondonada donde confluyen varios ríos y barrancos. Este hecho, presupone, de partida, una situación favorable a la diferente amplificación según la posición topográfica. Para evaluar este efecto se ha buscado una forma objetiva de hacerlo, mediante una escala relativa que cuantifique la amplificación. El criterio aplicado es puramente geométrico, y hemos establecido áreas de isoamplificación, siendo las zonas que menos amplifican las que están situadas en el fondo de los barrancos. Tomando estos fondos como base se proyectan líneas con ángulos a intervalos de 10 que desde ese punto intersecten a la superficie topográfica, la asignación de cada grado de la escala se puede ver en el corte de la Fig 3. Se utilizan dos escalas: una que establece el orden de cuantificación (para cada barranco) y otra que recoge el solapamiento. Estos grados que evalúan la influencia del desnivel pendiente están de acuerdo con los criterios seguidos por VOGT, R. (1987).

### Hidrogeología

No tiene influencia en Alcoy (materiales hidrogeológicamente impermeables). En otras zonas, este factor sería muy importante y sería aplicable algunas metodologías para terremotos con capa freática alta, ejemplo: (HUERTA DE MURCIA, Fórmula de MEDVEDEV). IBARGUREN SOLER, J. (1986).

### Fenómenos inducidos

Las laderas de naturaleza inestable en los cauces Barchel y Molinar que atraviesan Alcoy son zonas potencialmente amplificadoras por la existencia de múltiples deslizamientos latentes. Se situó la posición de los más importantes.

## 3. ELEMENTOS VULNERABLES

Los comportamientos dinámicos (respuesta) de los elementos vulnerables dentro del ámbito urbano (construcciones, líneas de vida y edificaciones singulares), durante un terremoto, son difíciles de predecir; esto es debido al gran número de factores (Figura 4) de los que dependen. Todos ellos condicionan las características dinámicas de las estructuras involucradas.

La cartografía de elementos vulnerables ha consistido en zonificar los tipos de construcciones según lo hace la Norma Sismorresistente (PDS- 1 (1974)). En el caso de Alcoy se dividió en cuatro zonas en función de los porcentajes de B y C ya que el tipo A lo podemos considerar inexistente.

Además de esto se incluye las líneas de vida y los edificios cuya destrucción puede interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad, después de ocurrido un terremoto o dar lugar a efectos catastróficos.

## 4. HIPOTESIS DE VULNERABILIDAD

El resultado de integrar y solapar peligrosidad (4 zonas) con la zonificación de tipos de edificaciones (4 zonas), daría un número excesivo de zonas (16 zonas), lo que dificultaría la lectura y la estimación de la vulnerabilidad; siendo un mapa poco práctico para evaluar la vulnerabilidad pues está basado: por un lado en la peligrosidad en función de una escala relativa (Nos indica que zonas previsiblemente amplifican más que otras, pero no sabemos el incremento del parámetro de peligrosidad para estos factores) y por otro lado

no hace uso de los datos de vulnerabilidad contrastados en terremotos habidos en todo el mundo (escala MSK), que sería una garantía por su amplia utilización; así como de la información histórica local sobre daños por terremotos. Esto nos ha llevado a plantear lo que llamamos hipótesis de vulnerabilidad que consiste en asignar grados de intensidad MSK, entre los grados VII y IX de la escala, según la zona de peligrosidad. Que sería de la siguiente forma:

VII se le asigna la zona 1

VIII se le asigna la zona 2

IX se le asigna la zona 3 y 4

La justificación se basa en los siguientes puntos:

- \* Ubicación de los daños del terremoto de 1620 (I=VIII) en la zona 2.
- \* Ser el terremoto máximo asignado a Alcoy de I=IX, ocurrido el año 1645.
- \* Utilización de la escala de vulnerabilidad MSK, a pesar del carácter subjetivo y cualitativo.
- \* Para los objetivos perseguidos (Protección Civil y Ordenación Urbana), esta escala es la herramienta más contrastada en el mundo, no existiendo reglas o normas tan útiles en su aplicación.
- \* Todo esto no supone, no tener en cuenta las limitaciones para otro tipo de aplicaciones en aspectos más específicos, como determinadas estructuras o elementos estructurales; para los que la metodología sería poco resolutive.

## 5. M.P.V.S. CONCLUSIONES

Con la asignación de Intensidades MSK, el mapa (Figura 5) pasa a ser una herramienta claramente útil dándonos una zonificación estimada de las intensidades repartidas por el área de estudio, en el caso de que ocurriera la peor situación previsible (carácter determinista), terremoto de I=IX y el tipo de construcciones de cada zona de intensidad.

En aquellas zonas sin construcciones, la zonificación de peligrosidad, nos avisara que diseño sismo-resistente en términos generales será necesario hacer para aguantar el grado de intensidad asignado. En el mapa se destaca sobre todo una zonificación de la vulnerabilidad en tres zonas: Baja, Media, Alta (Fig. 5 Leyenda). Por ejemplo la zona de edificios de estructuras mejores combinada con la zona de mínima intensidad (MSK) esperada estará en la zona baja, como es lógico.

El método a pesar del carácter subjetivo y semicuantitativo y de las limitaciones indicadas anteriormente resulta útil para su aplicación en Ordenación Urbana.

## 6. APLICACIONES

La vulnerabilidad diferencial que se refleja en el M.P.V.S. es la base para el diseño de medidas complementarias a Ordenación en el ámbito urbano.

Las medidas desde el punto de vista sísmico a tener en cuenta para la Ordenación Urbana a la vista del M.P.V.S. de Alcoy en función de los condicionantes: (Usos de suelo, urbanistas y arquitectónicos, vías de comunicación y accesos principales), serían:

- **USOS DEL SUELO** (Para la construcción y el crecimiento urbano).

Zona (1): Proximidad al borde de grandes cantiles. VULNERABILIDAD (V): Alta. PELIGROSIDAD (P): 3-4 (escala relativa). RECOMENDACIONES (R): Muy desaconsejable o restringida.

Zona (1): Materiales de relleno. ALTA P: 3-4. Muy desaconsejable o restringida. Realizar estudios geotécnicos (características del relleno, capacidad portante y profundidad del horizonte firme) y elección de la cimentación.

Zona (2): Areas situadas orlando los cauces principales.

V: Alta y Media. P: 2. Tomar especiales precauciones. Rehabilitación con refuerzo sísmico, diseño de las cimentaciones. Evitarse los casos de ruina y abandono.

Zona (3): Areas restantes. V: Baja. P: 1. R: Aptas para el desarrollo urbano. (Se tendrá en cuenta: posibles restricciones geológicas y presencia de rellenos entrópicos).

- **URBANISTAS Y ARQUITECTONICAS**

- Mejora de las comunicaciones interurbanas.  
(Conservación y mantenimiento de los grandes puentes).
- Evitar trazados de calles sinuosos o tortuosos.
- Cuidado y mantenimiento de las conducciones principales de agua y electricidad.
- Utilizar para zonas verdes las zonas desaconsejables.
- Limitar el número de plantas, (edificación).
- Refuerzo en los elementos arquitectónicos más vulnerables.

- **VIAS DE COMUNICACION Y ACCESOS PRINCIPALES**

- Vigilancia de puntos problematicos de acceso a la ciudad. (taludes, terraplenes, puentes, etc). Aspectos generales a tenerse en cuenta en los planes de actuación para el caso de catastrofe sísmica influidos por las medidas anteriores.
- Puntos de evacuación y abastecimiento.
- Zonas del trazado sinuoso (casco antiguo).
- Daños indirectos por riesgos asociados.
- Puntos conflictivos en las líneas de vida.
- Daños en la infraestructura viarias.

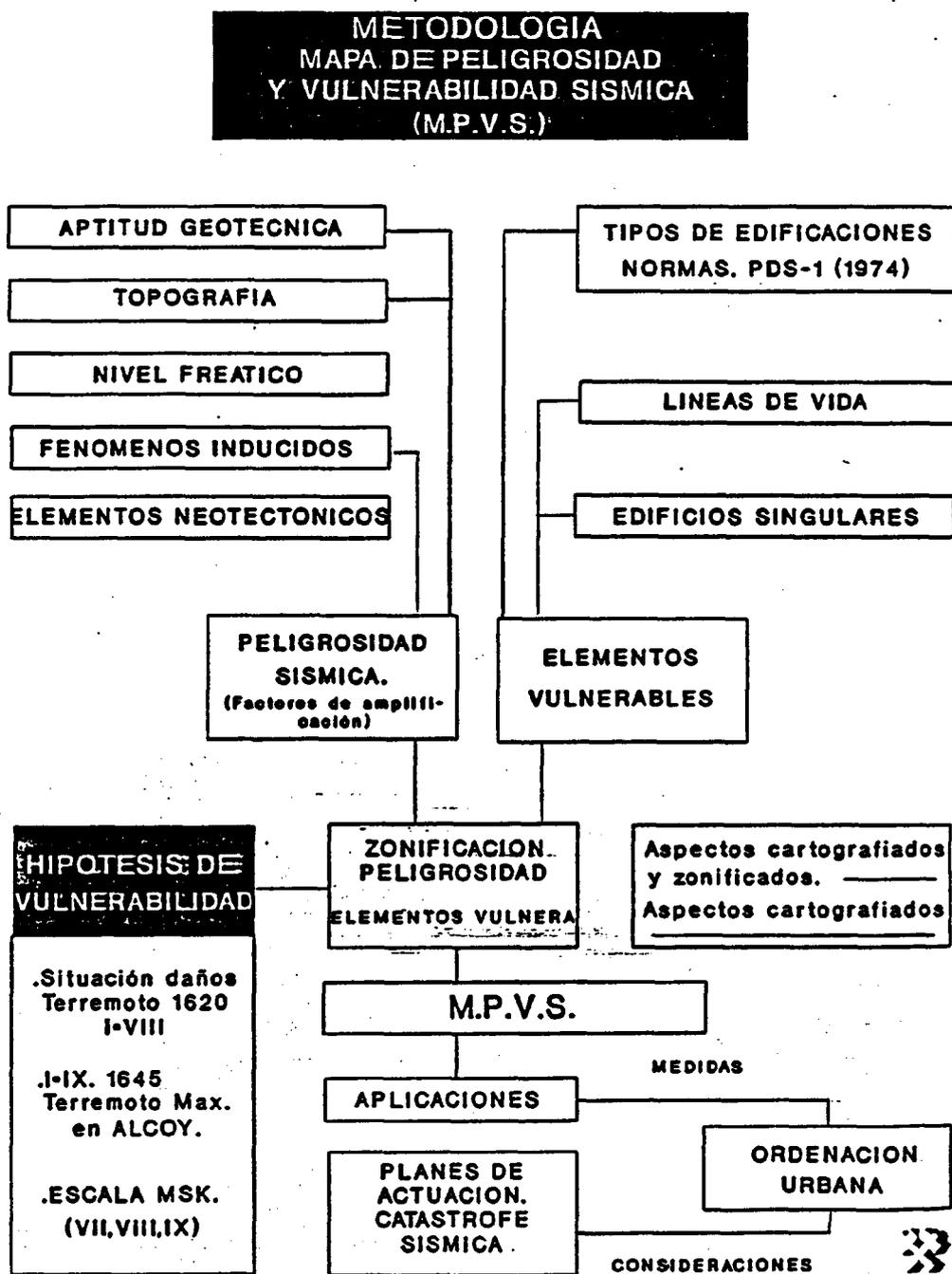


Fig. 1. Esquema del método seguido en la realización del M.P.V.S. y sus aplicaciones.

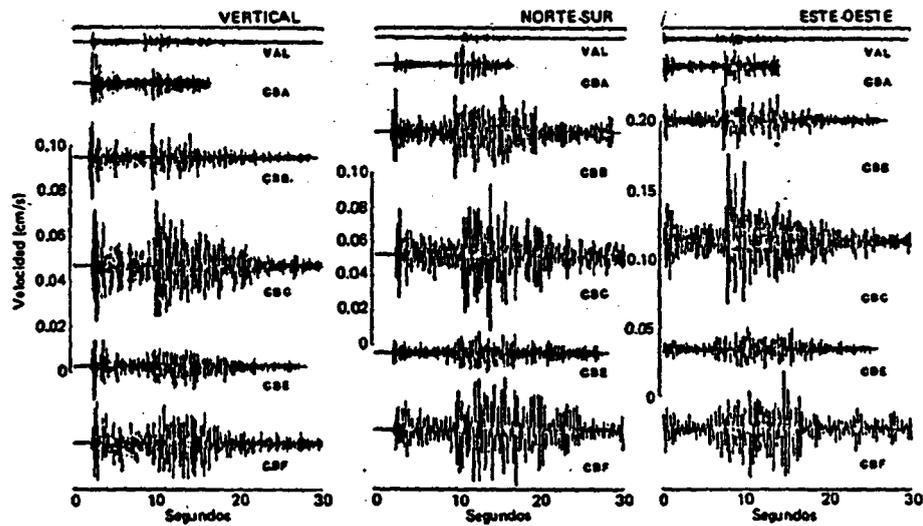
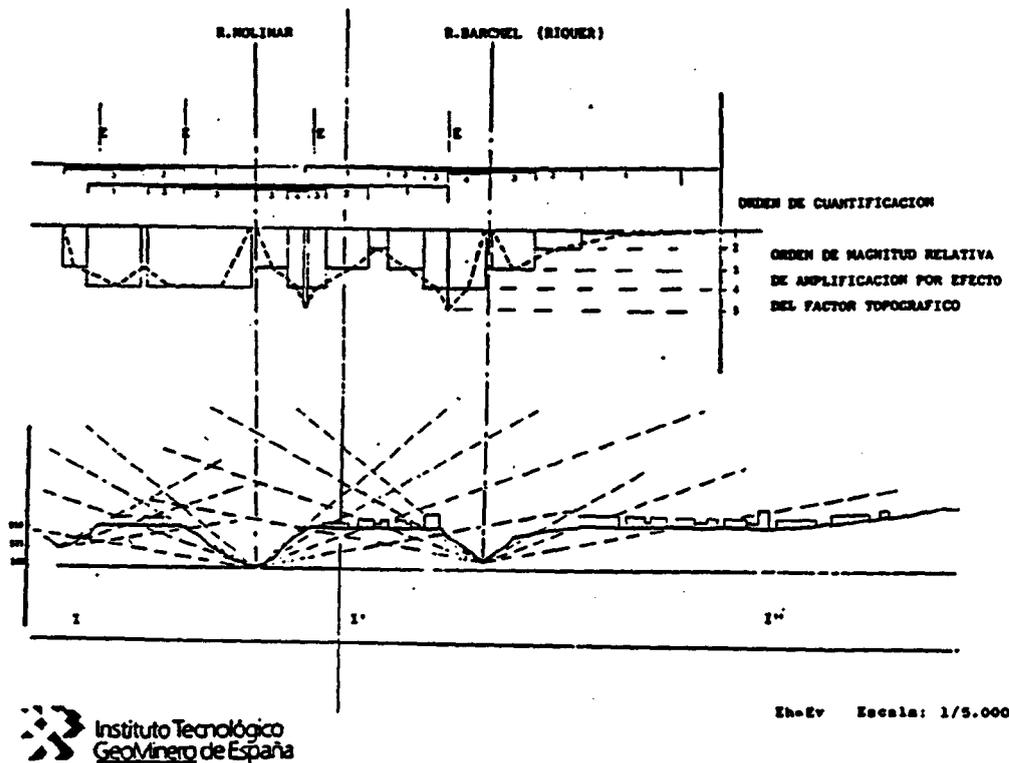


Fig. 2. Registros de velocidad. Replica del terremoto de Chile (3-3-85). Se muestra el efecto de amplificación debido a condiciones locales de suelo y de topografía en seis puntos (zona de Valparaíso-Viña del Mar): VAL, suelo rocoso; CBA, en el valle; CBB, CBC, CBE y CBF en cimas y cuevas (CELEBI, 1987).



Instituto Tecnológico  
Geominero de España

Et-Ev Escala: 1/5.000

Fig. 3. Ejemplo de obtención del orden de magnitud relativa de amplificación por efecto del factor topográfico (ITGE, 1990).

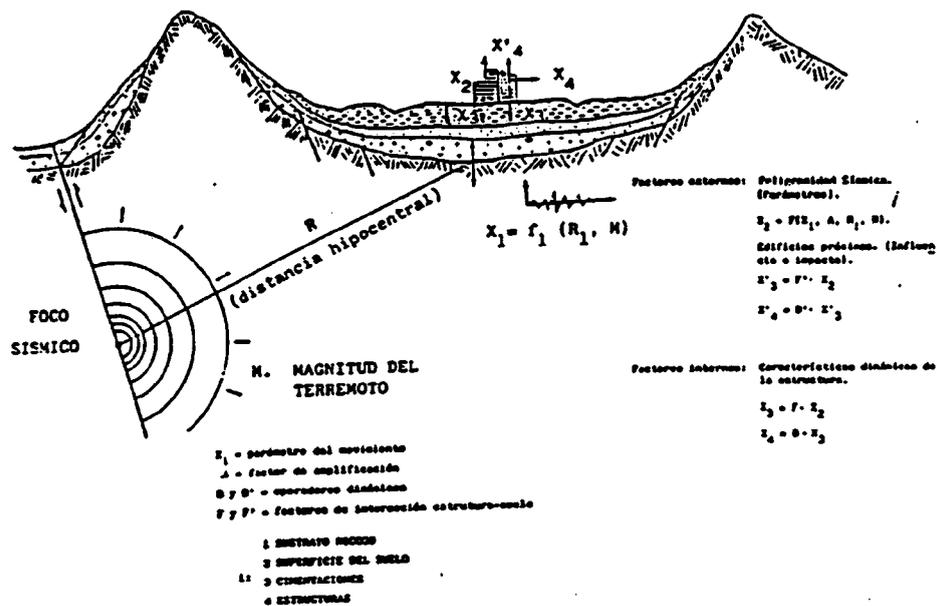


Fig. 4. Factores externos e internos condicionantes de la respuesta (vulnerabilidad) de las estructuras durante un terremoto (ITGE, 1990).

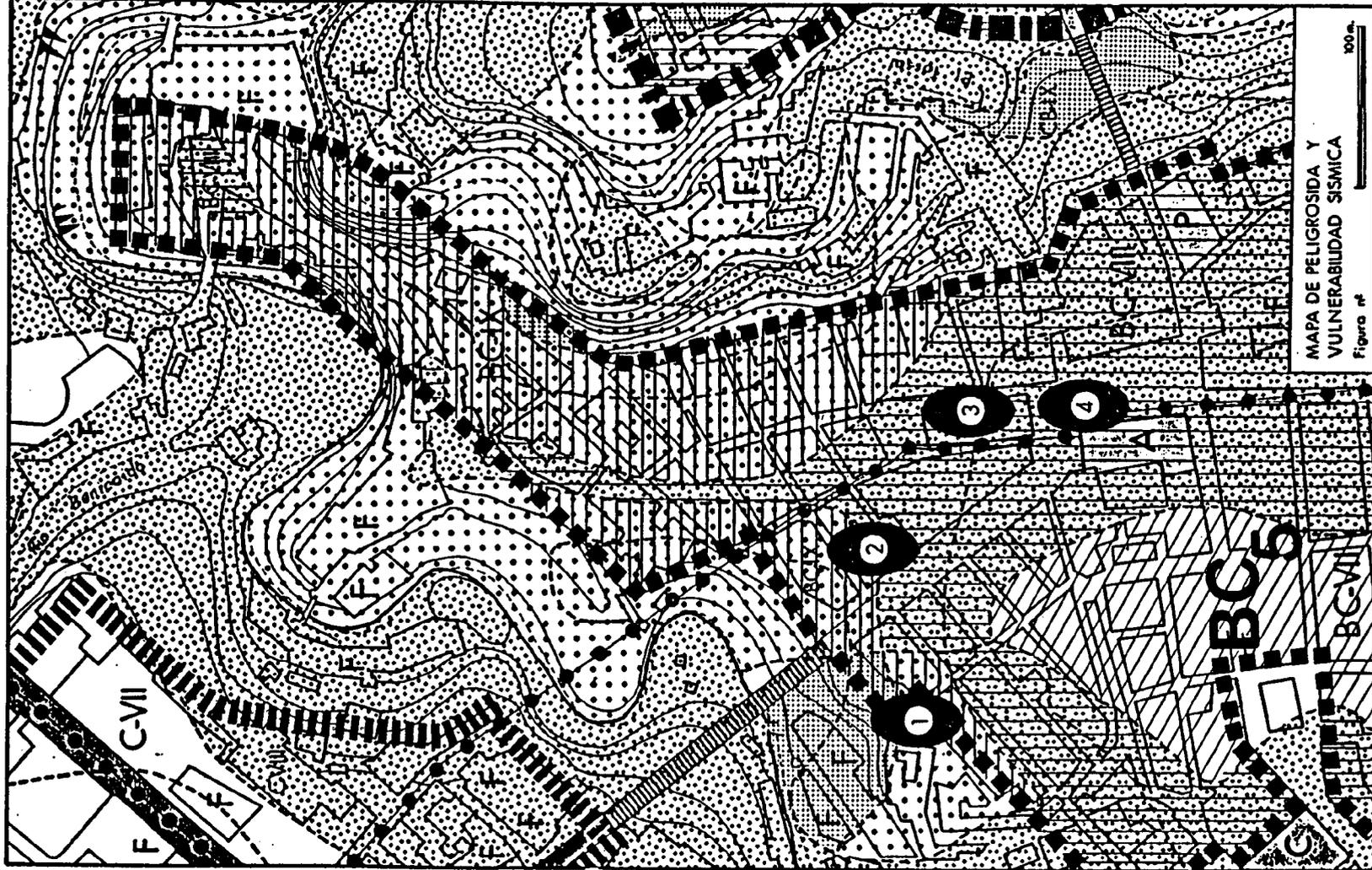


Fig. 5. Detalle de una parte del Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de Alcoy. Leyenda (ITGE, 1990).

VULNERABILIDAD SISMICA		INTENSIDAD SISMICA (M.S.K.) Esperada.		
		Baja	Media	Alta
ZONIFICACION		VII	VIII	IX
B 90% B 10% C		B VII	B VIII	B IX
BC 90% - 50% B 10% - 50% C		BC VII	BC VIII	BC IX
CB 90% - 50% C 10% - 50% B		CB VII	CB VIII	CB IX
C 90% C 10% B		C VII	C VIII	C IX
TIPOS DE CONSTRUCCIONES		1	2	3
		PELIGROSIDAD SISMICA		

**DISTRIBUCION Y TIPOLOGIA DE EDIFICACIONES**

- ZONA 1B 90% B y 10% C
- ZONA 2BC 90% al 50% B y 10% al 50% C
- ZONA 3CB 90% al 50% C y 10% al 50% B
- ||||| ZONA 4C 90% C y 10% B
- B<sub>g</sub> TIPO DE ZONA Y ALTITUD DOMINANTE (B planas).
- F INDUSTRIA
- A EDIFICIO SINGULAR (ejemplo A = Ayuntamiento).
- LUGARES DAÑADOS EN EL TERREMOTO DE 1620

**LINEAS DE VIDA (LIFE LINES).**

- LINEA ELECTRICA DE ALTA TENSION
- LINEA ELECTRICA DE BAJA TENSION
- RED PRINCIPAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
- VIAS PRINCIPALES DE ACCESO
- ||||| PUENTE PRINCIPAL

**FENOMENOS ASOCIADOS**

- PROCESOS DE DESLIZAMIENTO EN LADERAS.
- TTT ESCARPE EN CABECERA DE LOS DESLIZAMIENTOS.
- PROCESOS DE REPTACION.
- ▲ DESPRENDIMIENTOS Y DESPLOMES.
- DIRECCION DEL MOVIMIENTO.

Fig. 5. Leyenda.

## BIBLIOGRAFIA

- CELEBI, M. (1987): "Topographical an geological amplifications determined from strong-motion and aftershock records of the 3 march 1985 Chile earthquake". Bulletin Seismological Society of America, Vol. 77, No. 4.
- COMISION PERMANENTE DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1.974): "Norma Sismorresistente P.D.S.1 (1.974). Decreto 3209/1974 de 30 de Agosto. BOE nº 279.
- I.G.M.E. (1.985): "Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la Ordenación Urbana de Alcoy". Mapa de riesgos Geológicos. Escala: 1/25.000, 1/1.000. Memoria.
- MARTIN MARTIN, A. J. (1.986): "Consideración del fenómeno sísmico en al O.T.". Condiciones que deben reunir las ciudades. 1as. Jornadas de estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la O.T. Murcia, 1986.
- STUDER, J. A. y ZIEGLER, A. (1986): "The geotechnical aspect of microzonation". VIII European Conference on Earthquake Engineering. Vol. 2. Lisboa, 1986.
- VOGT, R. (1.987): "Einfluss von Täkern auf die Seismischen Bodenbewegungen". Bericht Nr. 158, Institut für Banstatik und Konstruktionen, ETH, Zürich, Juni 1.987.

TERREMOTOS Y OBRAS CIVILES

CEDEX-IGN, Febrero 1992

MICROZONIFICACION SISMICA  
ESTUDIO DE LA CIUDAD DE ALCOY

Por: Joaquín Mulas de la Peña  
Instituto Tecnológico y  
Geominero de España

## INDICE

1. INTRODUCCION.
2. HISTORIA SISMICA DE ALCOY.
3. MARCO NEOTECTONICO Y SISMOTECTONICO.
4. ESTUDIOS DE MACROZONACION. VALORES DE PELIGROSIDAD SISMICA.
5. MICROZONACION SISMICA. CARTOGRAFIA DE PELIGROSIDAD. E.1:5000.
6. EXPOSICION (ELEMENTOS VULNERABLES).
7. VULNERABILIDAD SISMICA. CARTOGRAFIA DE VULNERABILIDAD. E.1:5000.
8. CONCLUSIONES.
9. RECOMENDACIONES.
  - A) MEDIDAS DE PREVENCIÓN.
  - B) RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN CIVIL.

## 1.- INTRODUCCION

Es cada día mayor el conocimiento y mejores las técnicas aplicadas por los países económica y tecnológicamente avanzados, en aquellas ciudades del mundo con problemas importantes de riesgo sísmico. El interés en la experimentación y puesta a punto de métodos de microzonación es creciente, así lo demuestra la convocatoria para la 4ª CONFERENCIA INTERNACIONAL sobre MICROZONACION a celebrarse en California en 1991. A pesar de esto no existen todavía métodos universales que aborden con resultados útiles esta problemática (peligrosidad-vulnerabilidad sísmica); si bien en algunos aspectos de la peligrosidad en áreas muy localizadas (una ciudad, una central nuclear, una presa, etc) se han conseguido algunos resultados con distintas técnicas, como son: Tratamiento de registros (red de acelerómetros), simulaciones a escala en condiciones muy controladas y modelización por métodos de análisis numéricos. En cambio en los aspectos de vulnerabilidad de ciudades, el número de incertidumbres, es tan grande y tan complejas muchas de ellas que no existen técnicas formales que den resultados de cierta utilidad; el camino que se suele seguir es básicamente el análisis retrospectivo de los daños por terremotos pasados (vulnerabilidad observada) y correlacionarlos con situaciones parecidas a las existentes en la actualiada que permita estimar la respuesta (vulnerabilidad potencial) a los terremotos del futuro.

Los estudios a gran escala de aspectos involucrados en el riesgo sísmico (sismicidad, peligrosidad, vulnerabilidad, etc) tienen una importante función en todo tipo de actuación a nivel comarcal y urbano. El presente estudio se encuadra en este tipo de estudios en los cuales se reflejan los factores locales a tener en cuenta en la evaluación del riesgo sísmico. Para la realización de este tipo de estudios se precisa una considerable cantidad de datos y conocimientos locales que necesariamente se obtienen en áreas, que como Alcoy, presentan ya una infraestructura geológico-geotécnica. No existen muchos trabajos con anterioridad a éste sobre microzonación, entre ellos podemos citar el MAPA DE MICROZONACION SISMICA DE LA HUERTA DE MURCIA (Ibargüen, 1986), realizado según el método de MEDVEDEV.

La ciudad de Alcoy no ha sido ajena a los efectos devastadores de los terremotos; ya en 1620 la ciudad fue prácticamente destruida por un sismo al que se le asigna una intensidad VIII en la escala M.S.K. También en 1645 ocurrió un terremoto de grado IX en la escala M.S.K., siendo hasta el momento el sismo de mayor intensidad que ha afectado a la ciudad.

El objetivo final que se pretende con este estudio es la evaluación de aquellos factores influyentes en la caracterización de la Peligrosidad y Vulnerabilidad del entorno urbano que incluye la elaboración de dos mapas, uno de Peligrosidad y otro de Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Alcoy, a escala 1:5.000.

## Método

Para la elaboración de los **Mapas de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Alcoy** se ha seguido un proceso metodológico que consiste en integrar los numerosos factores que intervienen en el problema planteado.

Se han establecido tres fases para aproximar progresivamente el problema. Una primera fase incluye la recopilación bibliográfica, tanto de carácter general (sobre el fenómeno sísmico y su influencia sobre áreas habitadas) como de carácter local (problemática específica de la ciudad de Alcoy). Se han recopilado asimismo cuantos antecedentes pudieran existir acerca de este tipo de estudios.

En esta primera fase se ha procedido asimismo al estudio minucioso de la historia sísmica de la ciudad de Alcoy recopilando información de fuentes diversas.

Termina esta primera fase con el estudio del marco neotectónico sismotectónico del área anteriormente mencionada y con el establecimiento y situación de posibles "fuentes sísmicas".

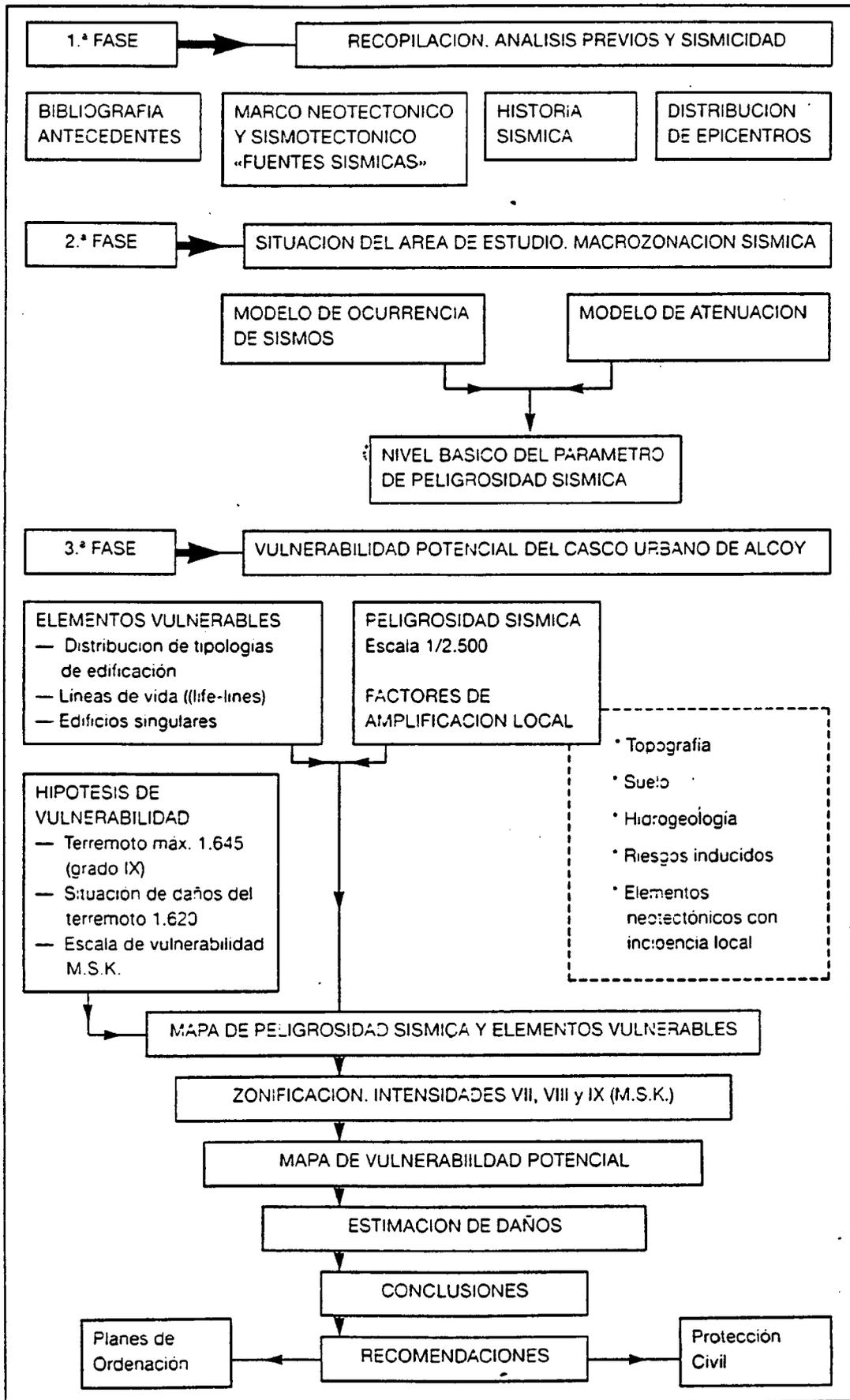
La segunda fase ha consistido en situar el área de estudio a nivel de macrozonación sísmica. Para ello se ha recopilado toda la información existente en los trabajos de investigación llevados a cabo por numerosos autores, que incluyen el área aquí estudiada, en particular en cuanto a los modelos de ocurrencia de sismos y modelos de atenuación.

La tercera y última fase lleva finalmente al establecimiento de la "vulnerabilidad potencial del casco urbano de Alcoy". Es la fase más compleja y para culminarla se ha realizado un **Mapa de peligrosidad sísmica y elementos vulnerables** que es la síntesis de un gran número de datos (distribución de tipologías de edificación, líneas de vida, edificios singulares, factores de amplificación local, etc.). A partir de este mapa y mediante el establecimiento de la hipótesis de Vulnerabilidad basada en: terremoto máximo ocurrido, situación de daños en terremotos históricos y escala de vulnerabilidad M.S.K. (VII, VIII y IX) que junto con la distribución en la misma de los elementos vulnerables da como resultado el **Mapa de Vulnerabilidad Potencial**.

Con todo lo anterior se establecen una conclusiones finales y se dan una serie de recomendaciones que, en general, tienen dos vertientes de aplicación inmediata: planes de ordenación urbana y Protección Civil.

En el cuadro 1 se recogen los diferentes aspectos que abarca el estudio.

CUADRO 1



## 2.- HISTORIA SISMICA DE ALCOY

Para conocer la historia sísmica de la ciudad de Alcoy se ha recurrido a la recopilación de datos históricos obtenidos de fuentes variadas: Archivos, Biblioteca Municipal, Instituto Geográfico, Banco de Datos Sísmicos y citas históricas de algunos autores alcoyanos. Con este doble enfoque, por la vía instrumental añadida al análisis histórico, es posible alcanzar una solución técnica suficiente al problema de la previsión sísmica, para los objetivos anteriormente expuestos.

El listado completo de los terremotos en Alcoy, tanto de los citados por los autores alcoyanos en sus crónicas como los facilitados por el SSIS quedaría tal y como aparecen en la tabla.

FECHA	HORA	LONGITUD	LATITUD	PRO	RMS	EH	EZ	NO	FUENTE	MAG.	INTENS.	LOCALIZACION	DAÑOS
1568/01/29		00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1620/12/02	19-00-00	00-27.0 W	38-42.ON						SSIS		VIII	Alcoy (A)	Sí
1620/12/11									AA			Alcoy (A)	
1620/12/14		00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1620/12/18		00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1620/12/25	04-00-00	00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1621/01/06	20 00-00	00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1621/01/14									AA			Alcoy (A)	
1621/01/15	01-00-00	00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1621/01/21	12-00-00	00-27.0 W	38-42.ON						SSIS			R. Alcoy (A)	
1640/12/14	04-00-00								AA			Alcoy (A)	
1640/12/18	03-00 00								AA			Alcoy (A)	
1640/12/25									AA			Alcoy (A)	
1644/00/00		00-27.0 W	38-42.ON						SSIS		V	Alcoy (A)	
1644/06/25									AA			Alcoy (A)	
1645/00/00		00-27.0 W	38-42.ON						SSIS		IX	Alcoy (A)	Sí
1727/00/00		00-30.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1748/03/23									AA			Alcoy (A)	
1748/04/02									AA			Alcoy (A)	
1752/00/00		00-30.0 W	38-42.ON						SSIS		V	Alcoy (A)	
1753/04/19									AA			Alcoy (A)	
1753/11/02		00-30.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1753/11/09		00-30.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1756/05/05		00-30.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1757/05/18									AA			Alcoy (A)	
1793/09/26	02-00-00								AA			Alcoy (A)	
1882/11/08	04-00-00	00-28.0 W	38-42.ON						SSIS			Alcoy (A)	
1918/11/07	13-40-15	00-28.0 W	38-42.ON					1	SSIS		IV	Alcoy (A)	
1919/01/20	12-15-00	00-30.0 W	38-42.ON						SSIS		IV	Alcoy (A)	
1931/01/28	20-35-22	00-27.0 W	38-39.ON					1	SSIS		V	Alcoy (A)	
1941/07/28	02-56-58	00-28.0 W	38-43.ON					2	SSIS	3.7	III	Alcoy (A)	
1975/04/08	02-16-58	00-30.0 W	38-42.ON					2	SSIS		II	Alcoy (A)	
1986/03/18	17-43-24.8	00-27.4 W	38-39.2 N	5	0.8	7	8	15	SSIS	3.2	IV	Alcoy (A)	
1987/04/23	00-47-16.1	00-34.1 W	38-40.5 N	18	0.3	8	8	9	SSIS	2.9		Alcoy (A)	
1988/09/08	05-29-23.9	00-22.3 W	38-38.1 N	10				8	SSIS	2.6	III	Alcoy (A)	

Tabla Relación de terremotos en Alcoy, SSIS (Servicio de Sismología e Ingeniería Sísmica). - AA (Autores Alocoyanos) - PRO: PRofundidad en kilómetros  
RMS: Error cuadrático medio en segundos. - EH: Error epicentral en kilómetros - EZ: Error en profundidad en kilómetros - NO: Número de observaciones  
MAG: Magnitud MB a partir de la fase LG. - INT: Intensidad máxima (escala M.S.K.). - R: Réplica. - (A): Provincia de Alicante.

A la vista de esta tabla se pueden señalar algunos aspectos de interés sobre la "historia sísmica" de la ciudad:

- Irregular distribución temporal de los sismos catalogados.

- En cuanto a la intensidad máxima asignada en Alcoy en el periodo 1568-1988 se sabe que ha sido de grado IX (en 1645).

- Existe también un terremoto del grado IX correspondiente al año 1748 con epicentro en Enguera, unos 40 km. al NW de la población de Alcoy. Esto puede dar una idea de la trascendencia que pueden tener los sismos en la zona.

- En cuanto a la magnitud, se dispone de muy pocos datos ya que solamente cuatro terremotos tiene magnitud asignada; los cuatro corresponden a eventos habidos entre 1941 y 1988. La mayor magnitud registrada ha sido 3.7 (en 1941) y la menor 2.6 (en 1988).

- En total son 11 los terremotos catalogados que han sido "cuantificados" es decir, tienen intensidad y localización epicentral asignada.

- De todos los terremotos de los que hay constancia en el periodo citado (cuyo número ascendería a 35), únicamente se sabe que produjeron daños de consideración el que sucedió el 02/12/1620, de intensidad VIII y el de 1645 de intensidad IX. Son los únicos que pueden aportar algún dato de interés a la hora de situar los daños por causas sísmicas en el pasado, en el casco urbano de Alcoy.

### 3.-MARCO NEOTECTONICO Y SISMOTECTONICO

#### NEOTECTONICA

Se considera como época neotectónica, al lapso de tiempo que se inicia con posterioridad a las últimas e importantes deformaciones propias de la orogenia Alpina. La opinión es de que estas etapas de deformación se produjeron a finales del Mioceno medio ( $\approx$  11 M. a).

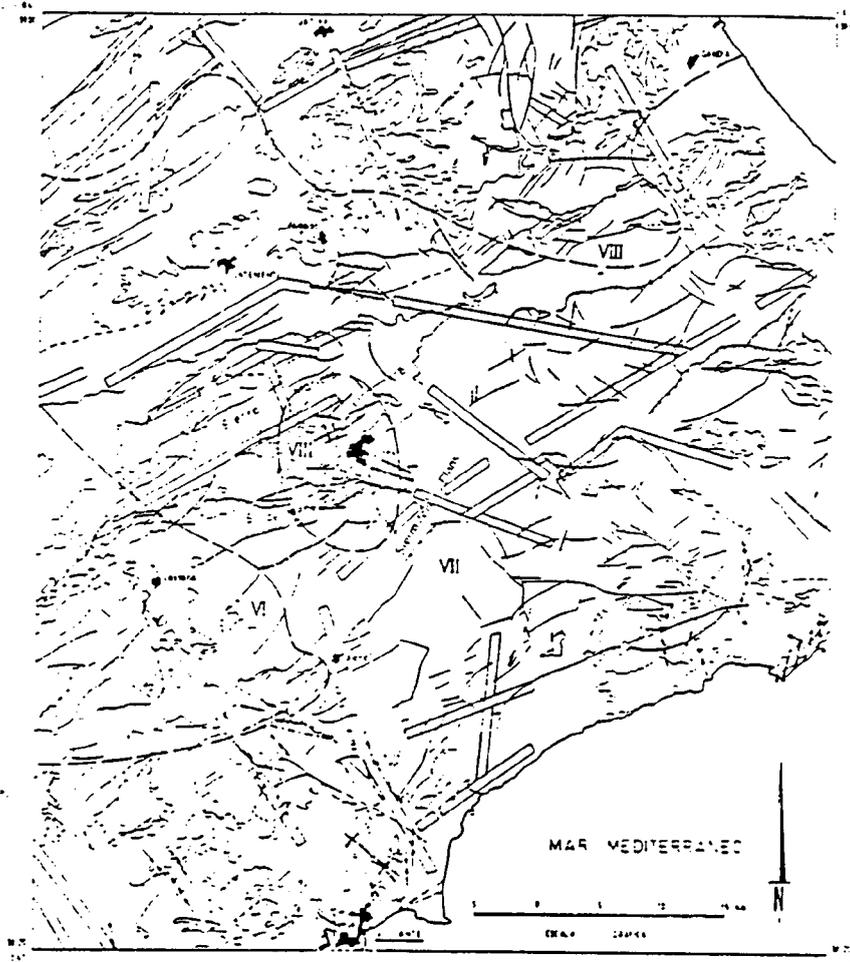
El mapa neo-sismotectónico a escala 1:200.000 (Fig. 1) recoge en parte información procedente del proyecto para la confección del MAPA NEO-SISMOTECTONICO DE ESPAÑA A ESCALA 1:1.000.000 llevado a cabo actualmente por el I.T.G.E., así como todos aquellos datos añadidos como de la documentación consultada.

#### \* Accidentes activos (Fracturas y pliegues).

El sistema N 60-70 E, bien expuesto en los alrededores de Alcoy, limita la sierra de Mariola, sierra de Menechaor y sierra des Plans. En cuanto a pliegues en relación con las estructuras de deformación dúctil (pliegues), existen algunos ejemplos que indican que los movimientos de compresión han sido efectivos durante determinados periodos de la época neotectónica.

El Mioceno superior, tras la última fase comprensiva importante fini-Serravalliense, está dominado por los movimientos verticales. El régimen de las fallas es predominantemente temporal y aparecen zonas de fuerte subsidencia frente a otras con tendencia a la elevación; Estévez, Al. et al (1986); Groupe de Recherche Neotectonique de L'arc de Gibraltar (1977); Sanz de Galdeano, C. (1983). En la zona de la Cuenca de Alcoy, la subsidencia está ligada a fosas de hundimiento en relación con una actividad esencialmente vertical, como consecuencia de una desaceleración o disminución del esfuerzo de acercamiento entre la plaza Africana y Euroasiática que da paso a una relación de estructuras y de reajustes isostáticos y a un mayor predominio de la actividad tectónica ligada a la apertura del Atlántico, de componente, esencialmente, E-W. A finales del Messiniense disminuye notablemente la subsidencia de las cuencas y ocurren importantes elevaciones. Durante el Mioceno continúa la tendencia a la elevación. Más adelante, en el transcurso del Mioceno superior a Pleistoceno inferior se reactiva la subsidencia en algunos sectores litorales del sector oriental de las cordilleras Béticas (Estévez, A. et al. 1986).

El sistema N 120 E también está representado al sur de Alcoy, constituyendo una familia de varias fracturas paralelas, algunas de las cuales se continúan con estructuras lineales mayores. Al norte de Alcoy entre la terminación de Sierra Mariola y el puerto de Albaida, este sistema se muestra como fracturas normales o verticales paralelas formando un segmento parcial de la gran estructura lineal que discurre desde las proximidades de Onteniente hacia el este.



MAPA NEO-SISMOTECTÓNICO

LEYENDA

	Materiales de la época neotectónica (desde el Mioceno Superior hasta el Holoceno)
	Materiales Preneotectónicos
	Contacto normal (no tectónico) entre diferentes unidades
	Contacto de naturaleza tectónica. Fracturas S.L.
	Fractura o falla normal
	Fractura o falla inversa o cabalgamiento
	Pliegues
	Fracturas o pliegues, con evidencias de actividad reciente
	Medidas puntuales de direcciones de máxima compresión
	Medidas puntuales de direcciones de máxima distensión
	Principales directrices lineales regionales deducidas de la interpretación de imágenes landsat
	Puntos principales de interés neotectónico
	VI Isoista (Mapa de Intensidades Máx. Sentidas)

Figura 1

En la cuenca neógena de Alcoy se presentan diversas anomalías geomorfológicas ligadas a la actividad neotectónica, que se extiende hasta el Cuaternario (Goy, J. L. et al. 1989). Así en el borde occidental de la cuenca, la tendencia al levantamiento de los relieves que constituyen sierra Mariola, ha dado lugar a fenómenos como superposición y/o encajonamiento de abanicos aluviales, depósitos de abanicos en contra pendiente o simplemente deformados por la actividad de fallas (generalmente normales), cambios bruscos en el perfil de los ríos, etc. En otras zonas de la cuenca también se detectan fenómenos parecidos y otros como trazado anómalo de barrancos o depósitos de ladera con una pendiente excesiva.

Las medidas de las direcciones de esfuerzos principales se han efectuado bien por métodos microtectónicos, bien sobre pliegues que afectan a materiales de la época neotectónica.

De los primeros se deducen direcciones de esfuerzos principales que oscilan entre N 30 W y N 35 E, dominando los esfuerzos compresivos próximos a N-S, mientras que los esfuerzos distensivos presentan sus máximos en torno a E-W o N 110 E (medidas sobre formaciones cuaternarias).

De los segundos aparecen direcciones de compresión N 35 W al oeste de Alcoy, y N 45 E al norte de Alicante (medias sobre formaciones de Mioceno superior).

#### **\* Fuentes Sísmicas**

Los terremotos, generados en el SE de España, se pueden encuadrar dentro de los terremotos superficiales (Hipocentro < 70 km.); tienen su hipocentro por encima de los 40 km. y predominantemente por encima de los 20 km.

No se pueden hacer demasiadas conjeturas respecto de la distribución espacial de los sismos ya que la disponibilidad de datos es limitada. El trabajo más reciente en este sentido corresponde a López Casado, C. et al (1989). El concepto de "Fuente Sísmica" tal y como aparece en estos trabajos sería el de "un área caracterizada por determinadas estructuras, en general juegos o sistemas de fallas capaces de producir un tipo específico de terremotos". La diferencia con el concepto de "Zona Sismogénica" está en que éstas representan "áreas o regiones en las que pueden producirse terremotos, pero sin especificar su relación con determinadas estructuras ni tipo de terremotos.

Que puedan influir en la ciudad de Alcoy, en base al citado trabajo, podríamos significar siete fuentes sísmicas importantes en la región: Enguera, Torrevieja, Murcia, Elche-Alicante, Lorca, Cehejín y Serón-Vera (Almanzora). Para elegir las se han impuesto una serie de condiciones entre las que se destacan: a) La localización en la zona de varios terremotos de intensidades altas > VI (pues parece existir una relación de los sismos de I máx. > VI (con los principales accidentes de esta región del Suroeste); b) La presencia de rasgos tectónicos tales como fracturas recientes y potencialmente activas; c) La existencia de

cierto niveles "alto" de microsismicidad.

**\* Periodicidad sísmica regional**

El conocimiento de la ocurrencia (periodicidad) de terremotos en una región, es un problema complejo, no en cuanto a los métodos utilizados en el tratamiento de los datos de partida, fundamentalmente estadísticos, sino debido al método de obtención, la naturaleza y escasez de dichos datos.

La fiabilidad de los resultados obtenidos en el análisis de periodicidad (período de retorno) está condicionada por los siguientes aspectos que deberán tenerse en cuenta:

- Muestreo incierto en cuanto a la representatividad del fenómeno completo (período Neotectónico).

Para el área de estudio

Registro humano/Período Neotectónico = 489 años/ 11 M. años

- Registro insuficiente del proceso (registro humano), en período histórico y también en los primeros años del período instrumental (entre 1910-1930).

- Heterogeneidad en las fuentes de datos históricos, lo que conlleva errores de situación, tamaño y fecha de ocurrencia para los terremotos en ese espacio.

- Errores en la estimación de la intensidad máxima sentida, obtenida en cada época en base a distintos cuestionarios macrosísmicos, diseñados en función de los conocimientos de cada momento histórico.

#### 4.- MACROZONACION SISMICA. VALORES DE PELIGROSIDAD ASIGNADA

El resultado de la evaluación de alguno de los términos dados como expresión del riesgo sísmico (sismicidad, peligrosidad vulnerabilidad o riesgo sísmico s.s.) a pequeña escala sin considerar la influencia formal de los factores locales, se denomina **macrozonación sísmica**.

En este apartado nos referiremos exclusivamente a los aspectos de peligrosidad normalmente. En la práctica, se caracteriza la peligrosidad sísmica mediante un sólo parámetro, lo más representativo posible. El que más se utiliza es la Intensidad Clásica (I) que no es, en sentido estricto, un parámetro de peligrosidad, aunque sí da una idea indirecta (y cualitativa) del movimiento del suelo, por el tipo de daño que describe para cada grado de escala que se utilice. La de uso más generalizado es la escala M.S.K. (12 grados). Este parámetro (I) es el que mayor período de registro tiene, pudiendo llegarse en algunos lugares de España a tener datos de hace 2.000 años. En la zona de Alcoy el registro es de 489 años.

Otra de las simplificaciones que suelen hacerse en la evaluación de la peligrosidad sísmica, consiste en considerar su variación espacial dependiente únicamente de la distancia epicentral, lo que se conoce con el nombre de atenuación (efecto del medio) sin tener en cuenta otros factores, como son: la frecuencia de la onda sísmica, direccionabilidad y magnitud de la fractura o estructura sismogénica, etc.

Existen diversas definiciones del término "peligrosidad sísmica". Cada una de ellas suele venir en función del tipo y condicionantes del estudio, sobre todo en lo que se refiere a los parámetros disponibles para su evaluación y a los métodos a utilizar en cada caso (métodos deterministas o métodos probabilistas).

Una definición que se adaptaría a nuestro estudio del término "peligrosidad sísmica" correspondería, con ciertas modificaciones, a la dada por Martín Martín, A.J. (1989): Probabilidad, en términos no siempre estrictamente matemáticos, de que en un determinado espacio de tiempo y como consecuencia de la sismicidad y del medio de propagación de las ondas sísmicas, se supere en determinada zona una intensidad macrosísmica dada o un determinado nivel de movimiento del terreno".

Si bien nuestros objetivos dentro del presente trabajo no están centrados en la evaluación de los parámetros que caracterizan la peligrosidad sísmica a pequeña escala.

Presentamos un Cuadro-síntesis en el que se muestra el nivel básico del parámetro que asignan a nuestro área los distintos estudios que la incluyen.

CUADRO Síntesis de los estudios de Riesgo Sísmico, que incluyen el área de estudio

FECHA	NOMBRE DEL ESTUDIO (Macrozonación sísmica)	ESCALA DE TRABAJO	MÉTODO DE CÁLCULO	PARÁMETRO DE CÁLCULO	VALORES PREFIJADOS DE LOS PARÁMETROS			PERIODOS DE DATOS	NIVEL BÁSICO DEL PARÁMETRO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO																																	
					a	b	Tiempo																																			
1974	MAPA DE LA NORMA SÍSMORRESISTENTE PDS-1 CORRESPONDE AL MAPA DE ZONAS SÍSMICAS GENERALIZADAS DE LA PENÍNSULA IBERICA, MONTJERA, 1965	1:1M	No determinista No probabilista No considera efectos de atenuación ni los terremotos lejanos (Faia Azores Goratari)	I A partir de un índice			50%		VII																																	
1981 1983	MAPA DE INTENSIDADES MÁXIMAS SENTIDAS 1939-1962 REV. PASTOR 1961 y MARTÍN MARTÍN 1961 y 1963	1:1M	Determinista influencia relativa de los grandes terremotos	I max. MSK no es probable (500 años)					VIII																																	
1981	MAPA DE RIESGO SÍSMICO DE MARTÍN Y SIERRA (1961-1980)		Probabilista no zonificado Gumbel I	I			50% 1.00%		VI VII																																	
1983	TESIS DE MARTÍN MARTÍN 45 MAPAS DE RIESGO SÍSMICO  Probabilista con diversas hipótesis sísmicas y estadísticas (frecuencia de terremotos-intensidad Gumbel I)		Zonificado distribución frecuencia de terremotos-intensidad	I			10% 50% 1.00%	1360-1980	V VI VII 5.000																																	
										1915-1980	V VI VI 1.000-5.000																															
												1930-1980	+ 75 años - 100 años + 1.00%																													
														1405-1980	IV VI VI + 4.00%																											
																1750-1980	IV V VI - 1.00%																									
																		1600-1980	V VI VI o VII 1.000-5.000																							
								1915-1980	VI VII VII 500-1.000																																	
										1380-1980	V VI VII 5.000																															
												1750-1980	IV V VI - 10.00%																													
														1600-1980	IV V VI 1.000-5.000																											
																1915-1980	IV V VI + 1.000																									
																		1930-1980	25-50 años 50-100 años 100-150 años 1.000-5.000																							
			No zonificado Gumbel I	I			10% 50% 1.00%	1380-1980	V VI VII 5.000																																	
										1750-1980	IV V VI - 10.00%																															
												1600-1980	IV V VI 1.000-5.000																													
														1915-1980	IV V VI + 1.000																											
																1930-1980	25-50 años 50-100 años 100-150 años 1.000-5.000																									
																		1983	ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO EN ESPAÑA	1:1M	Probabilista zonificado Dist. (reacción cuadrática frecuencia-intensidad) Ley de atenuación de SPOUHLER	lo (epicentral)	Las probabilidades anuales se han pasado a periodos de retorno.	100 1.000 10.000	CATALOGO SÍSMICO (IGN) VERSIÓN AÑO 80	VI-VII VII-IX IX-X																
																											1983	ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO EN CASTELLÓN, VALENCIA Y ALICANTE (ARENILAS PARRA, BISSAL, CERVELLO)	1:500.000	Determinista Probabilista	I		5% 10% 50% 1.00%	Catálogo de catos sísmicos IGN y otras fuentes tema nº 1964	VIII-IX V-VI VI-VII VII-VIII							
																																				1983	APORTACIÓN AL CONOCIMIENTO SISMOTECTÓNICO DEL SUDESTE DE ESPAÑA. ENSAYO DE DELIMITACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS (LOPEZ CASADO et al)	Probabilista Gumbel I	I	60 150	VIII IX	
																																										FUTURA NORMA SÍSMORRESISTENTE

## **5.- MICROZONACION SISMICA. CARTOGRAFIA DE PELIGROSIDAD E. 1:5000**

La microzonación sísmica evalúa el riesgo sísmico a gran escala, resaltando, sobre todo, la influencia de las condiciones locales sobre el mismo. Como resultado se obtienen un serie de zonas homogéneas de riesgo sísmico (microzonas).

Si bien la microzonación es un concepto que en cierta medida hace referencia al "riesgo sísmico" en cualquiera de sus expresiones en lo que sigue se hará referencia a ésta únicamente en lo que se refiere a la peligrosidad sísmica, como uno de los aspectos parciales que componen dicho "riesgo sísmico".

No se tendrá en cuenta por tanto la evaluación de los daños potenciales para cada tipo de construcción (vulnerabilidad) que serán tratados más adelante.

### **Metodología. Limitaciones**

No existe en la actualidad un método universalmente utilizado en microzonación sísmica. En aquellos países donde este tipo de estudios se han desarrollado con mayor intensidad, se utilizan diferentes metodologías cuyos resultados son escasamente fiables cuando se usan en zonas distintas a las que se aplicaron inicialmente.

En líneas generales se podría hablar de dos grupos de métodos para realizar un estudio de microzonación sísmica: métodos directos y métodos indirectos.

Los métodos directos están basados en el registro de la onda sísmica real en el área que se desea estudiar realizando la medida una vez que se ha establecido previamente la red de sensores y aparatos de registro más o menos sofisticados. Cuando se produce el terremoto destructivo se registra el parámetro o parámetros en que se va a definir el riesgo sísmico (en términos de peligrosidad). El tipo de parámetros registrado suele ser: aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo, siendo la duración del temblor y el período dominante, parámetros que pueden obtenerse así mismo de los distintos registros.

El resultado sería el de un conjunto de datos del parámetro elegido, tantos como puntos de medida tenga la red establecida.

Del tratamiento de estos registros se obtiene información relativa a la manera en que ha afectado a cada punto la acción sísmica (el valor máximo, duración, amortiguamiento, espectro de respuesta, periodos fundamentales, etc.). Cada registro será diferente como consecuencia del diferente filtrado que producen las distintas condiciones (factores de amplificación) que convergen en cada uno de los puntos de medida. A partir del valor que se elija de cada registro en cada punto o del tratamiento del mismo por interpolación, quedarían delimitadas cada una de las zonas (microzonas) por isolíneas de valores del parámetro elegido (normalmente la amplitud máxima del registro en cada punto).

Estos métodos son si duda los más precisos a la vez que los más caros, ya que sería necesario disponer una compleja instalación que precisaría además control y mantenimiento del equipo instrumental durante un largo periodo de tiempo.

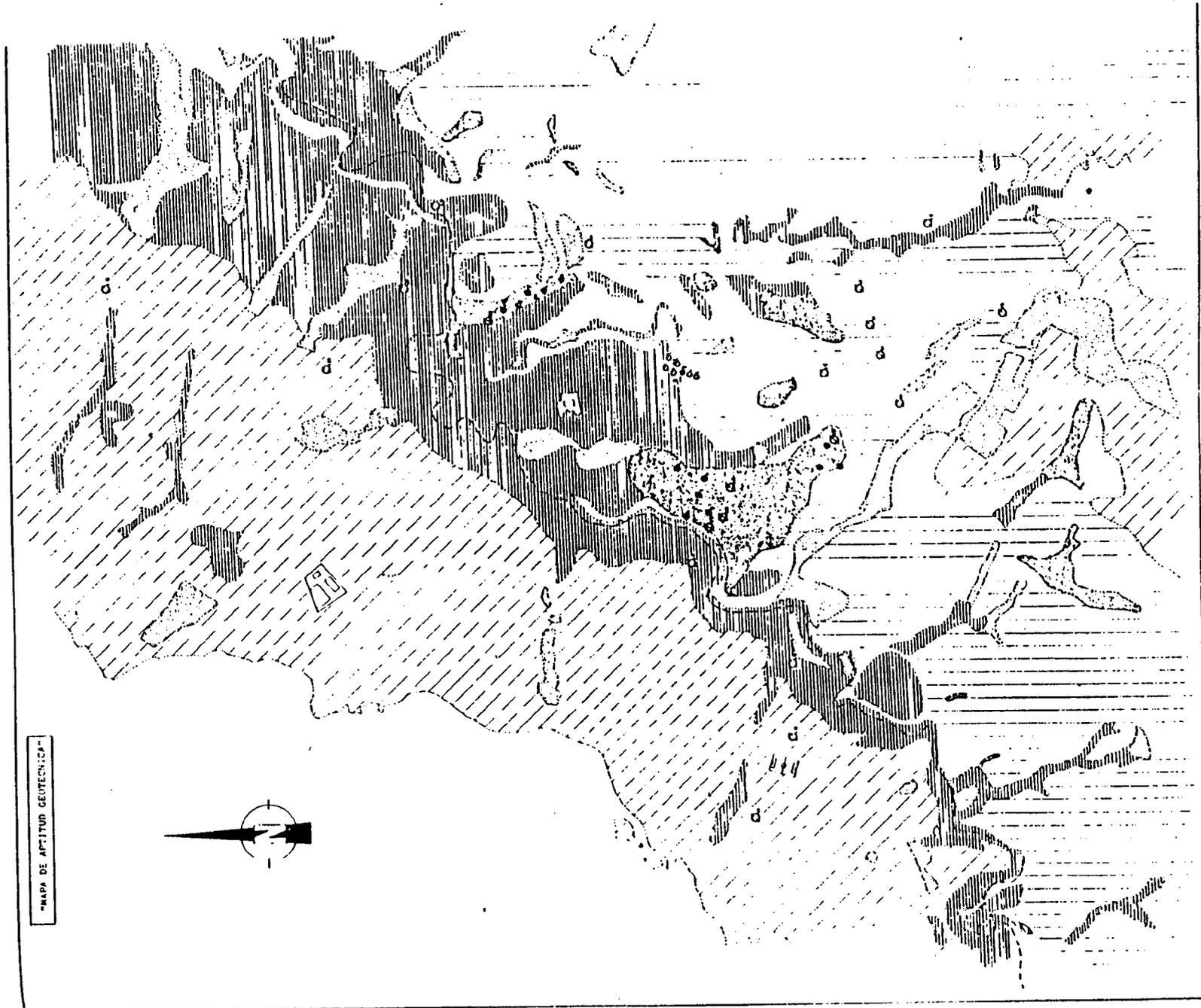
El principal condicionante en la aplicación de estas técnicas, es la incertidumbre que existe en la predicción de terremotos.

Otro tipo de métodos directos serían los que se basan en el registro de los llamados microsismos (terremotos que sólo se pueden captar mediante instrumental altamente sensible) naturales o artificiales. En la aplicación de éstos, y en particular en los basados en microsismos artificiales, se suele partir de la hipótesis de respuesta lineal de suelo, cosa que difiere bastante de la realidad ya que se ha comprobado que el comportamiento de un suelo sometido a acciones dinámicas se aleja considerablemente de la linealidad; siendo tanto más alejado su comportamiento de esta cuanto más destructivo sea el movimiento.

Los otros métodos ya mencionados que se pueden aplicar en estudios de microzonación sísmica son los que se denominan, en sentido amplio, métodos indirectos cuya filosofía para evaluar la peligrosidad sísmica reside, a grandes rasgos, en la modelización expresada en términos físico-matemáticos (a veces sólo parcialmente), de los factores que intervienen en la evaluación de la peligrosidad sísmica a gran escala (modelización de la onda sísmica). El cálculo o la estimación de la forma en que afectan los distintos factores, se puede obtener de los datos aportados por ensayos "in situ", o en laboratorio, de las características dinámicas del suelo, así como de la correlación con áreas de condiciones similares o de la simulación del comportamiento de los suelos.

Para conocer el grado de fiabilidad de los métodos indirectos, se necesitaría poder contrastar los resultados con los obtenidos mediante la aplicación de métodos directos (métodos instrumentales con medición de un parámetro real). Como ya se ha indicado, esto no es factible y solamente se ha podido hacer, en algunos casos, en países de alto desarrollo en estos temas.

Ante la imposibilidad de aplicar métodos basados en instrumentalización o en métodos cuantitativos de simulación; con utilidad para nuestros objetivos se ha procedido a microzonar la ciudad de Alcoy en base a los factores de ampliación local que influyen previsiblemente en la respuesta de cada tipo de suelo ante una acción sísmica. Como no existe método cuantitativo fiable para evaluar el grado de ampliación común, se ha obtenido la microzonación en base a la superposición de distintas zonificaciones según escalas de amplificación relativas a cada factor. El resultado es un mapa que evalúa la peligrosidad sísmica de forma cualitativa, presentando diversas zonas en cada una de las cuales existen unas condiciones de amplificación homogénea. El mapa permite conocer de forma cualitativa qué zonas amplificarán más y que zonas amplificarán menos, el nivel básico del parámetro elegido.



"MAPA DE APTITUD GEOTECTONICA"

APTITUD GEOTECNICA				
APTITUD	ZONA	FORMACIONES	EDAD	DESCRIPCION
1 (mejor)	C	III <sub>1a</sub> III <sub>1b</sub>	PLIOCENO	Restricciones geológicas a la construcción bajas. Cimentación más probable: superficial. Localmente puede haber paleocauces enmascarados por rellenos flojos. Carga admisible estimada, $\sigma_a = 2,5-3 \text{ kg./cm}^2$
2	A B	II <sub>2a</sub> II <sub>2b</sub> II <sub>2c</sub>	MIOCENO	Restricciones geológicas a la construcción medias-bajas. Cimentación más probable superficial o por pilotes. Posible expansividad local, deslizamientos fósiles profundos y reptaciones superficiales. Carga admisible estimada, $\sigma_a = 1,5-3,5 \text{ kg./cm}^2$
3	E F H	III <sub>3a</sub> III <sub>3b</sub> III <sub>7b</sub> III <sub>3c</sub> III <sub>7c</sub> III <sub>5a</sub> III <sub>5b</sub> III <sub>5c</sub>	PL.EISTOCENO- HOLOCENO	Restricciones geológicas a la construcción altas. Materiales muy variados. Cimentaciones más probables: superficial y por pilotes en áreas próximas a barrancos. Problemas por alternancia frecuente de capas de distinta consistencia, asentamientos diferenciales y problemas de inundaciones en algunos puntos.
4	D G	III <sub>2a</sub> III <sub>2b</sub> III <sub>7a</sub>	PLIOCENO-PL.EISTOCENO	Características muy heterogéneas. En áreas puntuales fuertes restricciones geotécnicas a la construcción. Riesgo de deslizamientos profundos. Niveles frecuentes de arcillas blandas de baja capacidad portante; Presencia de agua en horizontes colgados. Cimentación más probable: superficial o semiprofunda. Cargas admisibles estimadas $1,5 < \sigma_a < 2 \text{ kg./cm}^2$
5 (peor)	I	III <sub>6a</sub> III <sub>6b</sub>	ACTUAL	Espesores muy importantes de rellenos artificiales; en algunas áreas aparecen arcillas de alta plasticidad. Cimentación más probable: pilotes. Cargas admisibles estimadas $0,5 < \sigma_a < 0,8 \text{ kg./cm}^2$

Lo riguroso y deseable es que en el futuro, modelos más potentes y desarrollados confirmen de forma cuantitativa, los resultados que aquí se incluyen de microzonación sísmica en base a criterios cualitativos.

#### **FACTORES DE AMPLIFICACIÓN LOCAL**

##### **- Composición, estructura y distribución de los suelos. Aptitud geotécnica**

Se ha comprobado en muchos lugares la gran influencia que tienen las condiciones locales del suelo en los efectos sísmicos sobre las estructuras. Por este motivo, resulta de gran importancia establecer cuáles son las características generales del subsuelo de Alcoy para poder determinar, en diferentes zonas cuáles son las que mayores posibilidades tienen de sufrir fenómenos de amplificación.

Se analiza a continuación la distribución y composición de los materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la ciudad. Se ha tomado como base de distribución geográfica y para la descripción de la composición litológica, el Mapa de "Factores Geológicos con Incidencia Constructiva" del Mapa Geotécnico y de riesgos para la ciudad del Alcoy (IGME, 1985). Comprobados los límites y reconocidas las litologías se han introducido algunas variaciones apreciadas, fundamentalmente en lo referente a la distribución de materiales de relleno. Se han agrupado, asimismo, las formaciones descritas en el mencionado estudio para posibilitar una mayor homogeneidad en cuanto a criterios de capacidad resistente y respuesta al movimiento. Finalmente se ha recopilado toda la información de la que se dispone hasta la fecha en cuanto a sondeos y reconocimientos del subsuelo de la ciudad, con los que se ha podido definir las características geotécnicas generales de las diferentes zonas.

#### **Clasificación de las diferentes zonas**

En base a los datos del subsuelo aportados por los sondeos y catas disponibles, así como por la geología de la superficie, se han diferenciado en la ciudad nueve zonas cuyas características geotécnicas medias se pueden ver en el cuadro de APTITUD GEOTECNICA.

Integrando todos estos datos y considerando factores muy diversos como son: restricciones geológicas a la construcción (cantiles, pendientes pronunciadas, posible fluencia lateral, reptaciones superficiales, removilización de depósitos sueltos, etc.), espesor de los rellenos antrópicos, valores medios del SPT de cada zona, presencia de niveles alternantes de consistencia variable, etc., se ha procedido a asignar a cada una de las zonas un valor entre 1 y 5 según la "calidad" media de cada una. El valor 1 representa la zona de mayor calidad, mientras el 5 indica la zona de peores características en función de los factores considerados. Esta calificación servirá para evaluar qué zonas del casco urbano son más susceptibles a la acción sísmica. En el

Mapa de Aptitud Geotécnica adjunto aparecen representadas las diferentes zonas agrupadas según la calificación otorgada a cada una de ellas.

#### **- Elementos neotectónicos con incidencia local**

La cartografía geomorfológica no permite apreciar de manera clara accidentes o fracturas significativas dentro de la cuenca sedimentaria en el entorno de Alcoy. A la espera de otros datos (geofísicos por ejemplo) se puede decir que esos accidentes, de existir dentro del casco urbano de Alcoy, van a seguir las directrices de los que ya son bordes de los macizos mesozoicos circundantes que, a la postre, constituyen el sustrato de la cuenca postorogénica.

#### **- Efectos de la Topografía**

La topografía del terreno influye muy significativamente en la intensidad del movimiento sísmico y puede mostrar un efecto amplificador.

La variación en la intensidad del movimiento sísmico puede ser realmente grande debido a asperezas o irregularidades topográficas. Las condiciones geológicas tienen igualmente influencia significativa; así, si los bordes de los valles están constituidos por suelos poco consolidados, el efecto amplificador puede ser aún mayor.

La ciudad de Alcoy se encuentra situada sobre una hondonada donde confluyen varios ríos y barrancos.

A continuación se hace una división por zonas de la ciudad establecidas como unidades geomorfológicas donde los límites vienen definidos por los principales cauces y barrancos. Estos al estar tan encajados, disectan el territorio en unidades de morfologías muy distintas.

#### **Quantificación relativa del efecto de amplificación**

El método que aquí se presenta se ha diseñado para el caso de Alcoy buscando una forma objetiva de evaluar el efecto amplificador producido en las ondas sísmicas por las condiciones topográficas, específicas del área de estudio.

Este método pretende llegar a una zonificación en la que se consiga, con un mismo criterio, establecer áreas de isoamplificación.

El criterio aplicado es puramente geométrico puesto que el factor de amplificación que se trata de evaluar también lo es en gran medida.

Como base del método se utilizan cortes topográficos con idéntica escala vertical y horizontal.

Tomando como punto de base el fondo de los cauces

principales y barrancos se proyectan líneas con ángulos a intervalos de  $10^\circ$  que desde ese punto intersecten a la superficie topográfica (Fig. 2).

Se han establecido dos tipos de escala. La primera establece el orden de cuantificación del modo que ha quedado señalado.

Para cada río o barranco principal, se obtiene una escala decreciente desde el eje del mismo y conforme nos alejamos de él.

Como se puede apreciar en los cortes, existen escalas que se superponen allí donde el área de influencia de un determinado barranco o río principal, se solapa con la de otro cercano al que se le ha aplicado idéntico criterio.

La segunda escala recoge precisamente ese solapamiento estableciéndose así la suma de los efectos de amplificación desde ambos extremos, obteniéndose el orden de magnitud relativa de amplificación por efecto del factor topográfico.

Ese orden de magnitud se considera relativo puesto que está establecido en base a un criterio topográfico-geométrico con el que no existe aún relación con escalas establecidas para otros posibles factores de amplificación.

Las zonas de igual amplificación se sitúan entonces alrededor y a intervalos variables de los principales ríos y barrancos en función de la pendiente y desnivel existentes entre el cantil del barranco y el fondo del mismo.

Para pendientes muy altas y grandes desniveles el grado de amplificación relativa obtenido es el mayor y estas zonas presentan una apreciable extensión horizontal. Si la pendiente es igualmente alta, pero el desnivel es muy pequeño las zonas que se obtienen son de extensión mínima y afectan tan sólo al cantil inmediato al barranco.

Los máximos obtenidos se han localizado, en todos los casos, en las crestas de los cantiles con pendientes más altas.

#### - Hidrogeología (Nivel Freático)

A grandes rasgos puede decirse que la región en la que se encuentra la ciudad de Alcoy se caracteriza desde el punto de vista hidrogeológico por la presencia de relieves montañosos permeables y valles miocenos impermeables.

Salvo casos se puede considerar que el nivel freático generado en la ciudad se situará en el fondo de los barrancos actuales de los ríos, en una cota variable entre cabecera y desembocadura de los mismos.

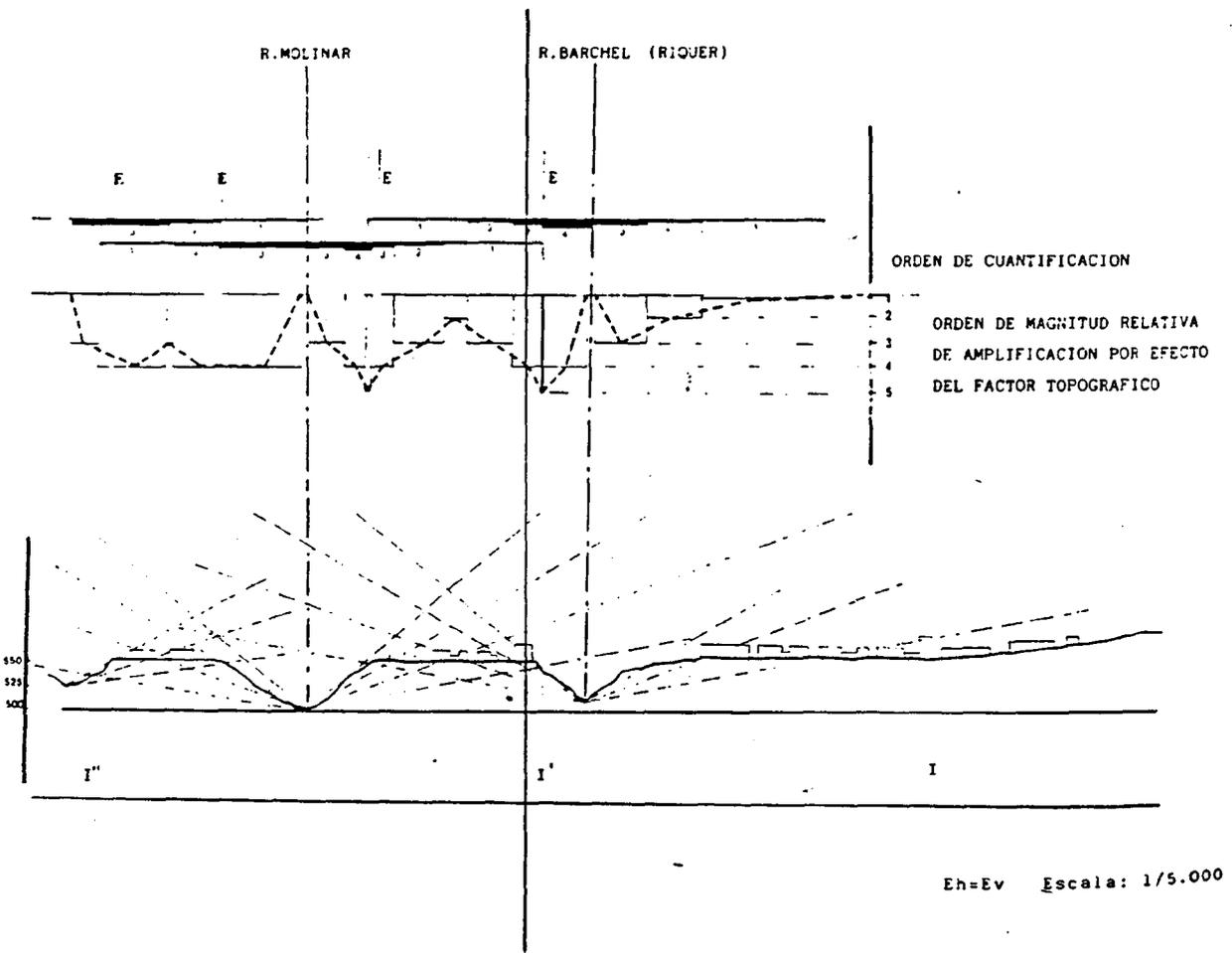
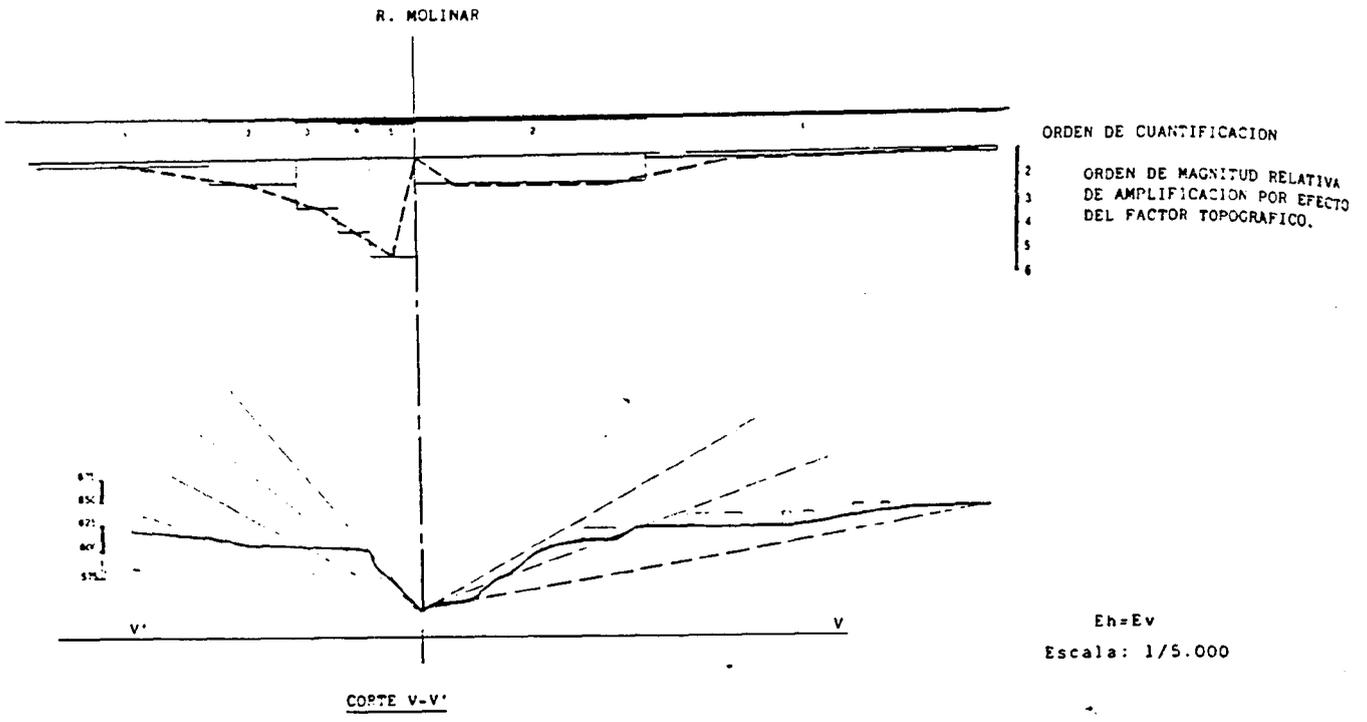


Figura 2

## **- Fenomenos inducidos**

### **Introducción**

Los daños causados por los terremotos se deben no sólo a la sacudida violenta sino también a otros fenómenos que los acompañan o bien son inducidos (activados) por ellos.

Desprendimientos, deslizamientos, avalanchas, licuefacción de suelos no cohesivos, rotura de la superficie debida a fallas, colapsos y subsidencias, son entre otros, procesos que acompañan a los movimientos sísmicos según la naturaleza y características geomecánicas de los materiales a los que afectan, y en algunos casos, ha podido comprobarse que los daños provocados por los mismos pueden llegar a superar a los producidos por la sacudida del terreno.

Los fenómenos señalados, contribuyen a crear un notable incremento de la peligrosidad de aquellas áreas en las que puedan presentarse y por consiguiente debe presentarse a los mismos una especial atención a la hora de realizar la microzonación sísmica de la ciudad.

### **Antecedentes**

En el área de Alcoy se han detectado movimientos producidos en materiales miocenos, aparentemente fosilizados por la sedimentación.

Quiere decir esto que la existencia de fenómenos de inestabilidad de laderas es en esta zona muy antigua aunque evidentemente no se puede afirmar que se haya producido siempre en los mismos lugares y con igual intensidad (I.G.M.E. 1985).

Se considera como muy probable, que los movimientos sísmicos de 1620 aceleraron los deslizamientos que ya debían existir en las escarpadas laderas de la confluencia de los ríos Barchell y Molinar (al N. de la ciudad actual) en cuyas proximidades creció la ciudad ya desde la época medieval. Posteriormente cuando se produjo el desarrollo del casco urbano en el siglo XIX se ocuparon áreas adyacentes a los cantiles del Molinar lo que sin duda favoreció deslizamientos generalizados en las laderas (I.G.M.E. 1985).

Con anterioridad a 1946 las fotografías aéreas ya muestran numerosos deslizamientos en las márgenes de ambos ríos. Posteriormente a 1950 parecen incrementarse los movimientos, afectando principalmente al área del Viaducto Canalejas y margen del río Molinar.

Recientemente se ha tenido noticia de nuevas inestabilidades en el área del Paseo del Viaducto relacionadas con procesos de asiento del terreno (relleno artificial muy potente) combinando con (o consecuencia de) los numerosos deslizamientos que se producen a lo largo del talud, asociados con una reptación general del mismo a lo largo de la línea de terreno natural que

dibuja un círculo de deslizamiento casi perfecto.

### **Situación actual y tipología de las inestabilidades**

Podrían aducirse múltiples causas para explicar la activación de los numerosos movimientos registrados en las laderas de la ciudad (precipitaciones estacionales o torrenciales, emigración del cauce de los ríos, cambios urbanísticos, etc.) siendo muy difícil encontrar una relación clara y directa entre la aceleración de los movimientos y la actividad sísmica y neotectónica, salvo en algún caso (deslizamiento de la Beniata por ejemplo) (I.G.M.E. 1985).

Independientemente de cual sea la causa que provoca el movimiento, es un hecho claro y evidente la existencia de numerosos taludes y laderas del casco urbano que se encuentran en la actualidad en equilibrio límite o con factores de seguridad muy estrictos. Como consecuencia, un movimiento sísmico con intensidad suficiente podría dar lugar a la pérdida de resistencia de los materiales que forman dichos taludes y a la activación y/o aceleración de los movimientos con resultados muy perjudiciales que vendrán a agravar los causados por el propio terremoto.

Los deslizamientos más importantes que se pueden encontrar en el casco urbano de Alcoy. Sus tipologías son muy variadas así como el volumen de material involucrado en el movimiento. Por lo general salvo casos de reptación superficial y desplomes más o menos localizados, se trata de movimientos del tipo deslizamiento curvilinear más o menos profundo y en su mayor parte afectan a materiales de naturaleza margosa o arcilloso-limosa (I.G.M.E. 1985).

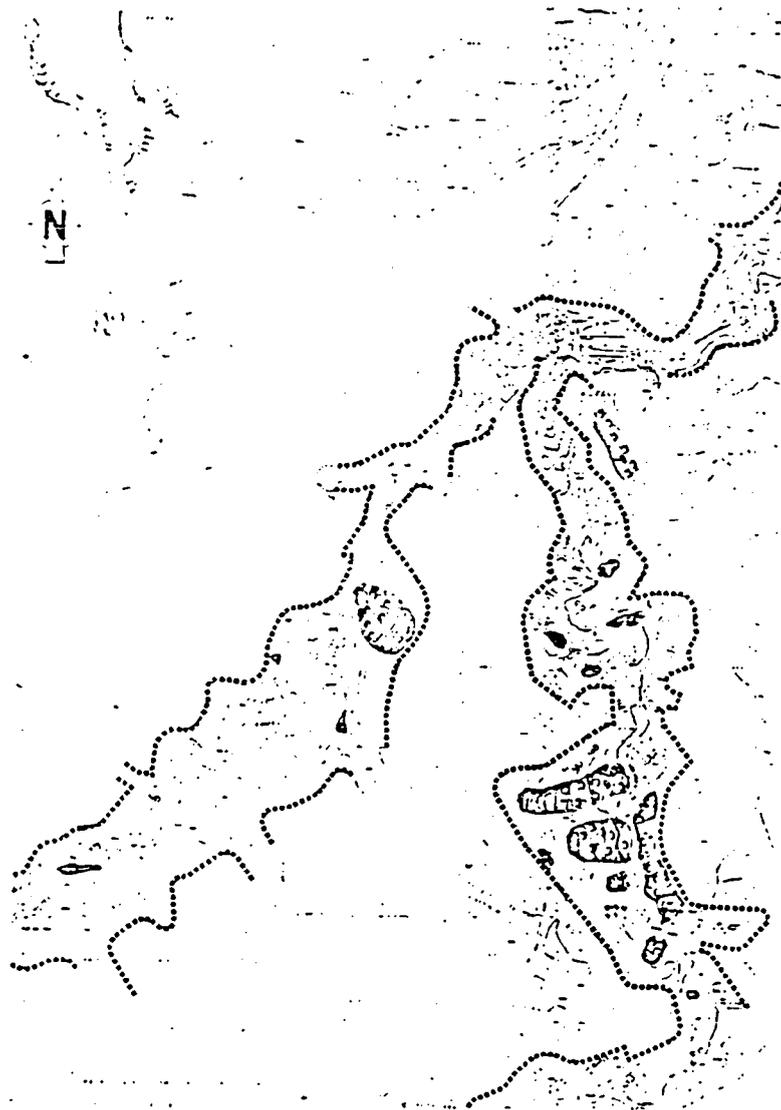
Otro tipo de inestabilidades que existiendo ya en la ciudad podrían verse incrementadas en caso de terremoto son los procesos de asiento y subsidencia de algunas áreas de la ciudad. En un hecho conocido que las vibraciones del terreno durante su sismo suelen producir con frecuencia la compactación de depósitos naturales o artificiales de material granular y como consecuencia se producen estos fenómenos de asentamiento diferenciales y subsidencias cuyo resultado es el colapso o bien graves daños a edificaciones y obras de ingeniería.

En cuanto a estos procesos se ha mencionado ya el caso reciente del Paseo del Viaducto. Fenómenos similares pueden producirse en zonas de la ciudad en las que existan construcciones sobre rellenos poco compactados o sobre suelos flojos. Estas zonas que ya se han incluido dentro de la tipificación realizada de los distintos materiales que componen el subsuelo de la ciudad, se han catalogado como zonas con una aptitud geotécnica muy baja. Como puede observarse en Alcoy son muy frecuentes ya que a lo largo de toda la historia de la ciudad ha sido necesario proceder a habilitar zonas cuya topografía hacía imprescindible llevar a cabo numerosos desmontes, abancalamientos, terraplenados, etc. cuya consecuencia final ha sido el que actualmente se registren numerosas zonas de la ciudad

en las que se ha edificado sobre rellenos. Estas zonas por la naturaleza de su subsuelo son susceptibles de sufrir, fenómenos de asentamientos o colapso lo que indudablemente contribuiría a agravar los daños.

En el mapa adjunto, se ha señalado un área que generalmente flanquea los cauces principales, en la que se han observado "movimientos en masa" del terreno. Como se puede apreciar se trata de laderas, muchas de ellas de fuerte pendiente (en las márgenes del Molinar), en las que se presentan fenómenos de deslizamiento, reptación o desprendimientos.

En cuanto a posibles fenómenos de licuefacción es muy improbable que puedan producirse en el área del casco urbano dadas las características de los materiales que forman el subsuelo de la ciudad, en términos generales muy alejadas de aquellas que confieren a los suelos la capacidad de licuarse.



**LEYENDA**



- Límite de desarrollo de procesos de deslizamiento en laderas.



- Deslizamientos activos y paleodeslizamientos.



- Escarpe en cabecera de los deslizamientos.



- Procesos de reptación en laderas.



- Desprendimientos y desplomes.

Dirección  
y sentido  
del movi-  
miento.

## CARTOGRAFIA DE PELIGROSIDAD E. 1:5000

Para la elaboración del Mapa de Peligrosidad Sísmica y del Mapa de Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Alcoy" se ha recurrido a una técnica, de integración por superposición de información temática. El proceso típico que se sigue es muy simple: se parte de los mapas temáticos básicos en los que aparecen los distintos tipos o clases de cada elemento, la superposición de éstos permite delimitar zonas o unidades homogéneas en las que se da una misma combinación de los distintos elementos.

Esta técnica presenta algunos inconvenientes entre los cuales el que mayor incidencia tiene es que para obtener resultados que puedan interpretarse sin grandes dificultades, el número de elementos que se relacionan ha de ser limitado. Por otra parte para la elección de los elementos que van a superponerse han de realizarse necesariamente una serie de hipótesis. En este caso se considera como hipótesis de partida que los factores locales van a influir de forma muy notable en los fenómenos de amplificación de las ondas sísmicas y por consiguiente la distribución espacial de los daños que se deriven de un terremoto de determinada intensidad, será función fundamental de la forma en que estos factores locales se conjungen entre sí y de su propia distribución espacial. Partiendo de esta premisa se procede a la evaluación y cuantificación relativa de los distintos factores locales que mayor peso específico puedan tener en los fenómenos de amplificación sísmica de la ciudad de Alcoy, llegando a la conclusión de que los principales factores que intervienen son dos: suelo y topografía.

Con este criterio se procede a elaborar un primer Mapa de Peligrosidad Sísmica de la ciudad, teniendo en cuenta, además que existen otros factores que sin intervenir directamente en la amplificación de los trenes de ondas sísmicas sí que contribuyen de forma importante a incrementar la peligrosidad de una determinada zona. Dichos factores no son otros que los posibles fenómenos inducidos por el terremoto: deslizamientos, desprendimientos, etc. de los que la ciudad de Alcoy cuenta con abundantes antecedentes.

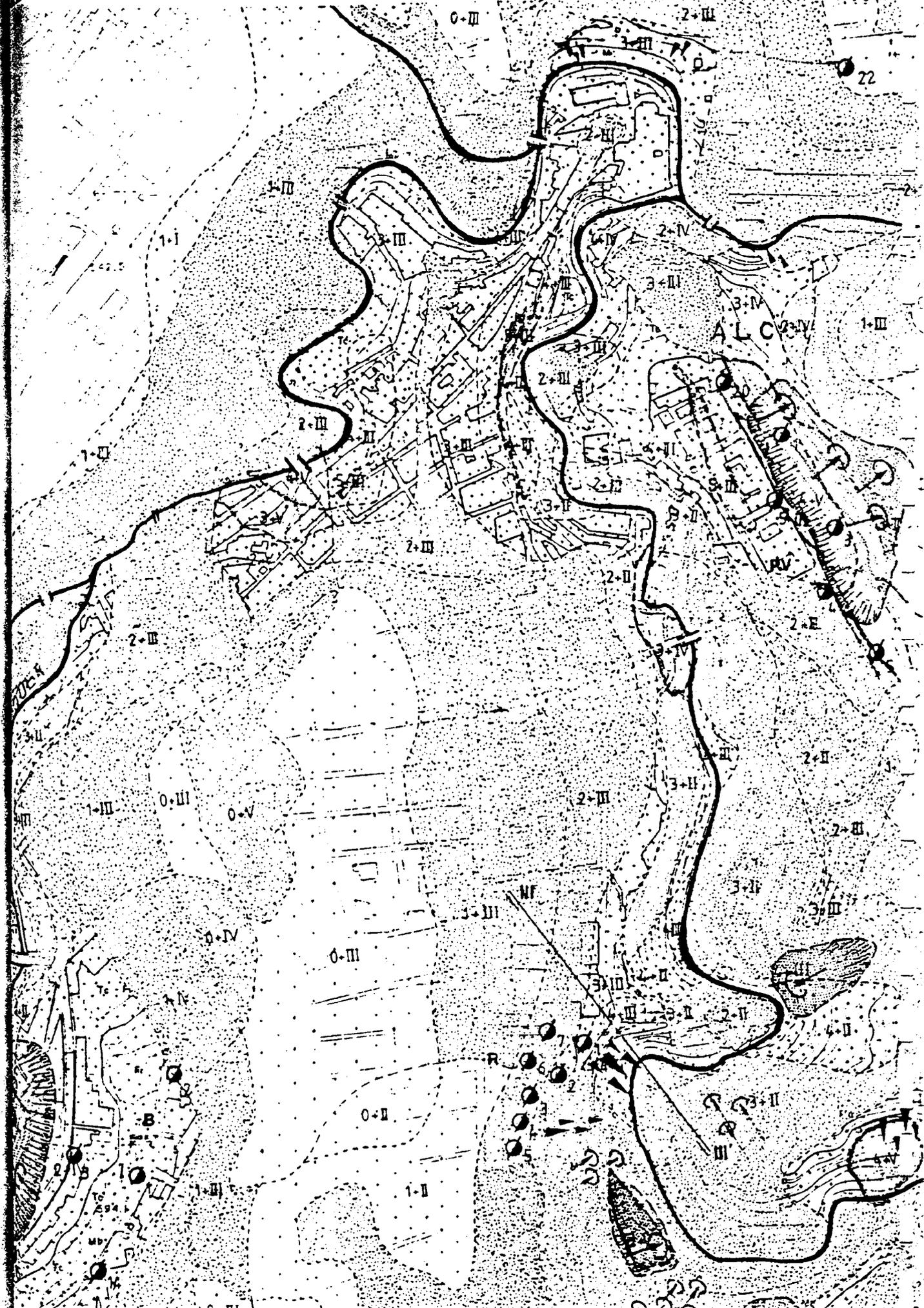
En la elaboración de este Mapa de Peligrosidad se han considerado los diferentes tipos de suelo que se han distinguido en la ciudad a partir de datos muy diversos (geología de superficie, sondeos, catas...) y se les ha asignado a cada uno un valor de 1 a 5 (mejor y peor respectivamente) según su "aptitud geotécnica" que es un concepto que hace referencia a propiedades tan diversas como: consistencia y compacidad del suelo, cargas admisibles, restricciones geológicas a la construcción, etc. Por otra parte se ha elaborado un método basado en un criterio puramente geométrico para evaluar la amplificación relativa que se produce en función de la situación topográfica de cada zona dentro de la ciudad. La aplicación de este método, que ya se ha descrito, ha permitido establecer 5 zonas de peligrosidad creciente de 1 a 5.

La superposición de ambos factores da lugar a la aparición de 25 zonas (microzonas) de "amplificación relativa" en función únicamente de los factores suelo y topografía.

Tan elevado número de zonas es intratable a la hora de establecer su peligrosidad sísmica potencial. Por ello se ha procedido a simplificar su número y dado que no es factible ponderar cual de los dos factores considerados tiene mayor peso en cada una de las zonas, se ha procedido a otorgar a ambos el mismo. De esta forma se han conseguido establecer cuatro zonas de peligrosidad sísmica para la ciudad, basando el criterio de división de las mismas en la amplificación que se producirá en cada una de ellas debido a la influencia de los factores locales considerados: suelo, topografía y posibles fenómenos inducidos. (Ver extracto del MAPA DE PELIGROSIDAD SISMICA DE ALCOY. E. 1:5000).

Extracto del MAPA DE PELIGROSIDAD SISMICA DE  
COY. E. 1:5.000.

4-III



## PELIGROSIDAD SISMICA

INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFIA EN LA AMPLIFICACION DE LAS ONDAS SISMICAS

Alta-muy-alta amplificación esperada. Zonas elevadas o cercanas a grandes cantiles y barrancos.

Muy baja-nula amplificación esperada. Zona situada en depresión y/o alejada de cantiles y barrancos.

(Deducido como combinación de los principales factores de amplificación analizados).

	5-0	5-I	5-II	5-III	5-IV	5-V
5	4-0	4-I	4-II	4-III	4-IV	4-V
4	3-0	3-I	3-II	3-III	3-IV	3-V
3	2-0	2-I	2-II	2-III	2-IV	2-V
2	1-0	1-I	1-II	1-III	1-IV	1-V
1	0-0	0-I	0-II	0-III	0-IV	0-V
0						
	0	I	II	III	IV	V

Material firme.  
Restricciones bajas.

Material suelto.  
Altas restricciones.

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES Y CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO. (APTITUD).

PELIGROSIDAD SISMICA		INTENSIDAD (M.S.K.) ESPERADA
[ ]	NULA O MUY BAJA	
[ ]	BAJA	Amplificación esperable nula
[ ]	MEDIA	Débil amplificación por factor topográfico, aptitud geotécnica o ambas combinadas.
[ ]	ALTA	
[ ]	MUY ALTA	Alta-Muy alta amplificación por factor topográfico, aptitud geotécnica o ambas combinadas.
		VII
		VIII
		IX

## 6.- EXPOSICION

### Elementos vulnerables

El conocimiento detallado de la distribución espacial de los diferentes tipos de construcciones, según sus características estructurales, resulta de enorme interés a la hora de hacer una evaluación estimativa de los daños que un terremoto de determinada intensidad ocasionaría sobre las mismas.

Se comprende que de manera general el grado de daño o deterioro que sufren cada uno de los tipos constructivos es función de la resistencia estructural de las edificaciones frente a la acción sísmica, y a igual intensidad del terremoto, y sin tener en cuenta otros factores que pueden potenciar la acción de éste, sufrirán daños de mayor consideración las edificaciones de tipo "A" que los de tipo "B" y estas últimas mayores que las de tipo "C" (véase Norma Sismorresistente PDS-1, 1974).

A efectos de distribución de los diferentes tipos constructivos se considerará como área de estudio a todo el casco urbano de la ciudad.

### Clasificación tipológica

En base a los tres tipos de construcciones ("A", "B" y "C") considerados en la Norma Sismorresistente (PDS-1, 1974) se ha realizado la zonificación del casco urbano teniendo en cuenta la distribución porcentual en las diferentes áreas de la ciudad, de las tres tipologías consideradas.

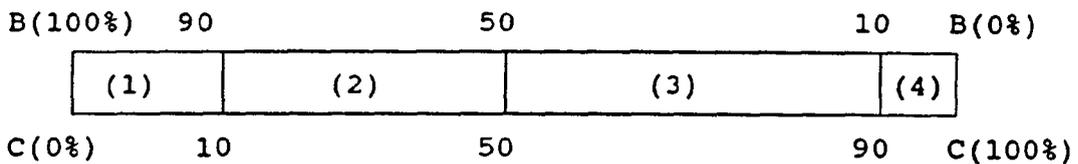
Un recorrido exhaustivo por la ciudad junto con la observación de la fotografía aérea de detalle (1:5.000) demuestra que salvo excepciones escasamente representativas, no existen prácticamente construcciones del tipo "A" en el casco urbano de Alcoy.

Este hecho permite realizar la separación de las diferentes zonas según una clasificación binaria que tenga en cuenta únicamente los dos componentes que aparecen, que corresponden a las tipologías constructivas "B" y "C". Cada zona vendrá representada por un cierto porcentaje, mezcla de cada uno de los dos tipos citados. De manera general se puede definir cada una de ellas como:

$$\text{Zona N} = B_x + C_{100-x}$$

Siendo: N = zona considerada  
x = (%) de edificaciones de tipo "B"

Con este criterio se ha procedido a dividir el casco urbano del Alcoy en cuatro zonas:



Zona 1: hasta un 90% de edificaciones de tipo "B"  
 Zona 2: entre un 90% y un 50% de edificaciones de tipo "B"  
 Zona 3: entre un 50% y un 10% de edificaciones de tipo "B"  
 Zona 4: hasta un 10% de edificaciones de tipo "B"

#### **Lineas de vida y edificios singulares**

Es importante destacar, dos grupos de obras civiles de fundamental importancia en todos los asentamientos urbanos:

- Obras de edificación singulares.
- Líneas vitales.

El primer grupo corresponde a aquellas obras cuya destrucción puede o bien interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad después de ocurrido un terremoto, o bien dar lugar a efectos catastróficos. Desde este punto de vista y sin carácter limitativo se señalan en la vigente Norma P.S.S. -1-1974 aquellas obras cuyo servicio es necesario para prestar auxilio después de un terremoto o cuya destrucción puede aumentar apreciablemente los daños producidos. En el casco urbano de Alcoy se han representado en los mapas los siguientes:

- . Edificios Sanitarios.
- . Cuarteles de Policía.
- . Depósitos de agua para el abastecimiento urbano.
- . Emisoras de Radio, Centrales Telefónicas, Telégrafos, Correos...
- . Subestaciones Eléctricas.
- . Colegios.
- . Juzgados y Ayuntamiento.
- . Gasolineras.

El segundo grupo corresponde a obras de carácter lineal, generalmente enterradas (aunque pueden no estarlo) y que son de importancia "vital" para el correcto funcionamiento de las ciudades (conducciones de gas, electricidad, agua potable, puentes y vías de acceso principales, etc.)

Los daños en la "líneas vitales" están asociados con aquellas zonas en las que las propiedades del terreno no son uniformes a lo largo de su longitud, es decir, en las áreas de transición de un tipo de suelo a otro. En el caso de Alcoy se han representado en los mapas los trazados (recorridos) de las siguientes:

- . Transporte de energía eléctrica.
- . Distribución de energía eléctrica.
- . Red principal de abastecimiento de agua.
- . Vías principales de circulación y puentes principales.

## 7.- VULNERABILIDAD SISMICA. CARTOGRAFIA DE VULNERABILIDAD. E. 1:5000.

El comportamiento dinámico de las construcciones, líneas de vida y edificaciones singulares de una ciudad, durante un terremoto, es difícil de predecir debido al gran número de factores de que dependen. Estos factores se pueden agrupar en externos e internos.

Factores externos:

- Peligrosidad sísmica (movimiento del suelo).
- Influencia e impacto de los edificios próximos.

Factores internos:

- Dimensiones.
- Interacción suelo-estructura (cimentación).
- Diseño de los elementos estructurales.
- Disposición en planta y alzado.
- Número de plantas.
- Rigidez del conjunto.

Existen varias líneas a seguir en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, en función de los datos disponibles, del método de cálculo y de los objetivos que se persigan (vulnerabilidad de un elemento estructural, de una determinada estructura, ciudad, región, etc.). En primer lugar están las que se basan en la clasificación de las construcciones según una serie de tipos estructurales, estudiándose el daño observado en cada uno y correlacionándolo con una determinada escala de vulnerabilidad (M.K.S.; M.M., etc.).

La vulnerabilidad esperada o potencial se estimaría a partir de la correlación con la vulnerabilidad observada (daños producidos por terremotos pasados y escalas de vulnerabilidad).

Otra línea a seguir, de carácter teórico, está basada en la aplicación de modelos matemáticos o modelos numéricos (diferencias finitas, elementos finitos), que dan una estimación de los comportamientos dinámicos (respuesta) de los elementos vulnerables a las acciones sísmicas. En estos, si bien con las simplificaciones pertinentes se ha llegado a algunos resultados para condiciones muy precisas en un tipo determinado de estructuras. Todavía no es posible dada la incertidumbre y complejidad de cálculo abordar con fiabilidad suficiente la evaluación de la vulnerabilidad. Por otra parte el tema se complica mucho más si lo que se estudia es la vulnerabilidad del conjunto formado por distintos tipos de estructuras, con influencias mutuas, repartidas en un área más o menos extensa e irregular como es el caso del casco de una ciudad.

Desde hace unas décadas en algunos centros de investigación de países muy avanzados en tecnología sísmica (Japón), EE.UU., etc.) se están ensayando modelos a distintas escalas de elementos estructurales (vigas, muros, pilares, cimentaciones, etc.) así

como de estructuras completas, para conocer su respuesta frente a las acciones sísmicas. Los datos obtenidos en cuanto al comportamiento estructural, van siendo cada vez más importantes, pero queda todavía algún tiempo para poder extrapolar esas investigaciones a otras zonas del mundo con diferente problemática en cuanto a peligrosidad sísmica (factor externo fundamental de la vulnerabilidad sísmica).

También se ensaya actualmente, el comportamiento de una estructura o de un elemento estructural en aparatos (simuladores) que pueden reproducir un tipo de movimiento del terreno parecido al que se produciría durante un terremoto. De los registros reales, mediante simuladores se pueden repetir registros idénticos del parámetro a medir (aceleración, velocidad, desplazamiento, etc.) que conectado con un dispositivo mecánico, reproduciría el movimiento de acuerdo a las características introducidas.

Todos estos ensayos, siendo muy útiles para aplicaciones puntuales son insuficientes a escala de municipio como datos para estimar la vulnerabilidad ya que sólo han sido ejecutados, bajo condiciones muy controladas, algunas estructuras y elementos estructurales. (Ver extracto del MAPA DE VULNERABILIDAD SISMICA DE ALCOY E. 1:5000).

Una vez realizado el Mapa de Peligrosidad Sísmica de la ciudad se asigna a cada zona, un valor del parámetro (Intensidad M.S.K.), esto lo hacemos en base a los que denominaremos Hipótesis de Vulnerabilidad que consiste en dar en aquellas zonas en donde se tengan localizados puntos de daños producidos por terremotos destructivos (1620 y 1645), el valor de I (M.S.K.) asignado para ese terremoto; en el caso de Alcoy, fue de intensidad VIII. Como en el mapa de Peligrosidad Sísmica quedan zonas de mayor peligrosidad y zonas de menor peligrosidad y teniendo en cuenta que el terremoto máximo histórico se le ha asignado un valor de intensidad IX, le daremos a esas zonas primero este valor y a las de menor peligrosidad el valor VII.

Si está bien asignado no es rigurosa, ya que no existen actualmente criterios que nos permitan saber en qué valor se incrementaría la intensidad, al pasar de una zona de peligrosidad a otra de un grado más, en la escala relativa con que hemos trabajado. Hemos aplicado esta hipótesis de carácter arbitrario, basada en los datos referidos anteriormente (Daños 1620, Tamaño máximo terremoto, escala MSK) por considerarla útil para los fines perseguidos en este trabajo y donde pensamos que la precisión a la que se llega es suficiente. Con ello conseguimos diseñar una estimación de la vulnerabilidad con arreglo a lo establecido a la escala de vulnerabilidad MSK para cada zona.

Una vez establecidas las zonas de peligrosidad sísmica y asignado a cada una de ellas un valor del parámetro de medida (Intensidad en este caso) se superpone al Mapa de Peligrosidad el Mapa en el que se han representado los elementos vulnerables de la ciudad, es decir el mapa de distribución y tipología de las edificaciones y líneas vitales.

La superposición de ambos mapas da como resultado la aparición de 12 zonas distintas de vulnerabilidad sísmica potencial. Estas 12 zonas se han agrupado en tres grupos:

- Zonas de vulnerabilidad **alta**.
- Zonas de vulnerabilidad **media**.
- Zonas de vulnerabilidad **baja**.

Que son las que finalmente se representan en el "Mapa de Vulnerabilidad Sísmica potencial".



# VULNERABILIDAD SISMICA

INTENSIDAD SISMICA (M.S.K.) ESPERADA

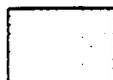
		VII Daños moderados en construcciones de tipo B, ligeros en tipo C. Daños en juntas de canalizaciones. Desmoronamientos en taludes de rellenos, arenas o gravas.	VIII Daños graves en construcciones de tipo B, moderados en tipo C. Fugas en juntas de canalizaciones. Pequeños deslizamientos de ladera, reactivación de los existentes. Grietas en el suelo.	IX Destrucción de muchas edificaciones de tipo B, incluso colapso. Daños graves en tipo C. Destrucción parcial en canalizaciones. Caen muros. Muchos deslizamientos en laderas. Aludes y desprendimientos de rocas.
URBANISTICA	B 90% B 10% C	B-VII	B-VIII	B-IX
	BC de 90%-50% B 10%-50% C	BC-VII	BC-VIII	BC-IX
ZONIFICACION	CB de 90%-50% C 10%-50% B	CB-VII	CB-VIII	CB-IX
	C 90% C 10% B	C-VII	C-VIII	C-IX
		Nula - Baja	Media	Alta - Muy Alta
		Incremento de la Peligrosidad Sismica →		



Zonas con VULNERABILIDAD SISMICA: NULA - BAJA.  
Peligrosidad Sísmica Nula - Media con tipo de edificación fundamentalmente del TIPO "C" (más resistente).



Zonas con VULNERABILIDAD SISMICA: BAJA - MEDIA.  
Peligrosidad Sísmica variable con predominio en la edificación del TIPO "C" sobre el TIPO "B".



Zonas con VULNERABILIDAD SISMICA: MEDIA - ALTA.  
Peligrosidad Sísmica variable con predominio en la edificación del TIPO "B" sobre el TIPO "C".



Zonas con VULNERABILIDAD SISMICA: ALTA - MUY ALTA.  
Peligrosidad Sísmica Media a Muy Alta con tipo de edificación fundamentalmente del TIPO "B" (menos resistente).

- (A) Construcciones con muros de mampostería, en seco o con barro de adobes, de tapial.
- B Construcciones con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero; de sillarejo, de sillería, entramados de madera.
- C Construcciones con estructura metálica o de hormigón armado.

DISTRIBUCION Y TIPOLOGIA DE LAS EDIFICACIONES

-  ZONA 1 B : 90% en la edificación de tipo B y 10% de tipo C
-  ZONA 2 BC : Del 90% al 50% de edificaciones de tipo B y del 10% al 50% de edificaciones de tipo C
-  ZONA 3 CB : Del 90% al 50% de edificaciones de tipo C y del 10% al 50% de edificaciones de tipo B
-  ZONA 4 C : 90% en la edificación de tipo C y 10% de tipo B

**B**<sub>8</sub>  
F

TIPO DE ZONA Y ALTITUD DOMINANTE (8 plantas)  
INDUSTRIA

EDIFICIOS SINGULARES

H	HOSPITAL	A	AYUNTAMIENTO
T	TELEFONICA	S	SUBESTACION ELECTRICA
E	COLEGIO	C	CORREOS
J	JUZGADO	P	POLICIA
R	EMISORAS	G	GASOLINERA

LINEAS DE VIDA (LIFE LINES)

-  Transporte de Energia Electrica y distribucion de Energia Electrica
-  Red Principal de Abastecimiento de Agua
-  Deposito de Agua (regulador)
-  Vias principales de Circulacion
-  Puente Principal

## 8.- CONCLUSIONES

A la vista de lo expuesto en el estudio, podemos concluir con una serie de puntos:

1. De los numerosos antecedentes sísmicos (1560-1989) de la ciudad de Alcoy, significamos los ocurridos en 1620 (Intensidad VIII) que produjeran daños que pudimos situar citados en las crónicas y el de 1645 que fue el de mayor tamaño ocurrido en Alcoy (I-X), pero cuya crónica de daños no es tan concreta.

2. La fiabilidad de los estudios de periodicidad está condicionada en cuanto a la muestra de datos tratados por:

. Incertidumbre del muestreo ante la representatividad del fenómeno completo (período Neotectónico). Registro humano (1560-1989) = 429 años. Período Neotectónico 11 millones de años.

. Registro del proceso insuficiente.

. Heterogeneidad de los datos históricos.

. Errores de estimación de la intensidad máxima.

3. Los estudios de macrozonación sísmica de los diversos autores (escala nacional), no son concluyentes (cuadro 4.1) en el valor obtenido para el nivel básico del parámetro para la ciudad de Alcoy.

4. Debido a que no existe método cuantitativo fiable para evaluar el grado de amplificación común, se ha obtenido la microzonación sísmica en base a la superposición de las distintas zonificaciones según escalas de amplificación relativas a cada factor.

5. El mapa permite conocer de forma cualitativa que zonas amplifican más y que zonas amplifican menos, el nivel básico del parámetro. La escala relativa da para cada zona un valor entre 1 y 5, máxima peligrosidad 5 y mínima peligrosidad 1.

6. La aptitud geotécnica de los materiales que constituyen el subsuelo de la ciudad ya se encontraba recogida en anteriores estudios del I.T.G.E. Revisados, se concluye que la presencia de rellenos naturales recientes (aluviales) y rellenos artificiales constituyen las áreas de riesgo más acusado, bajo este factor. Identificadas todas estas áreas y recopilada toda la información existente sobre las características geomecánicas de los materiales, se han obtenido zonas con características homogéneas cuya respuesta a las ondas sísmicas sea similar.

7. De todos los factores de amplificación considerados únicamente tiene una significación clara en Alcoy el factor suelo y el factor relieve, y los fenómenos inducidos, en el caso de la neotectónica y la hidrogeología local no se han visto en el estudio elementos que hagan pensar en una amplificación diferencial por dichos efectos.

8. La razón de aplicar la hipótesis de Vulnerabilidad, basada en los daños del terremoto de 1620, del tamaño máximo del terremoto de 1645 y de la escala MSK, es por considerarla útil para los fines buscados en este trabajo (Urbanismo y Protección Civil), aun no siendo demasiado riguroso el planteamiento de la misma.

Con ello conseguimos diseñar una estimación de la vulnerabilidad con arreglo a lo establecido en la escala de vulnerabilidad MSK para cada zona. Escala por otro lado ampliamente contrastada.

## **9.- RECOMENDACIONES**

En este capítulo se plantearán una serie de recomendaciones que en esencia se agrupan en dos tipo:

### **A) MEDIDAS DE PREVENCION**

- A. 1. Recomendaciones sobre tipología de las construcciones.**
- A. 2. Medidas de Ordenación en el ámbito urbano.**

### **B) RECOMENDACIONES PARA SU APLICACION EN PROTECCION CIVIL.**

#### **A) MEDIDAS DE PREVENCION**

##### **A.1. MEDIDAS A ADOPTAR ACERCA DE LA TIPOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES**

Sin entrar en consideraciones de carácter estructuralista ni en aspectos de detalle del diseño sismorresistente de las edificaciones, se describen a continuación las medidas que deberán observarse con carácter general, en la configuración de la edificación, en aquellas zonas del casco urbano de vulnerabilidad alta-media y en aquellas otras que si bien actualmente no presentan vulnerabilidad debido a la inexistencia de elementos vulnerables en ellas (edificios, vías de comunicación, etc.) si demuestran tener una peligrosidad sísmica alta en el futuro (cuando se aborden nuevos planes de expansión de la ciudad) se podrían configurar como zonas altamente vulnerables.

Con especial énfasis en las zonas de vulnerabilidad media-alta se recomienda que se observen las siguientes condiciones, teniendo siempre presente que no existe una forma estructural ideal concebida para resistir adecuadamente las sollicitaciones sísmicas:

- Simetría y regularidad de la forma geométrica.
- Regularidad en la distribución de rigideces y masas.
- Razón de esbeltez y formas alargadas.
- Consideraciones especiales para las estructuras.
  - . Hipersensibilidad y alto grado de redundancia de la estructura.
  - . Ductilidad y alta capacidad de disipación de energía.
  - . Estudio cuidadoso de las condiciones locales de suelo y diseño correcto de las cimentaciones según dichas condiciones.
  - . Rigidez y período natural de las estructura en relación con las propiedades del suelo.

- . Procurar que las articulaciones plásticas y los mecanismos de colapso se formen antes en los elementos horizontales (vigas) que en las columnas.
- . Atender a la seguridad de los elementos no-estructurales y vigilar los daños secundarios aislando las conducciones y servicios de la estructura del edificio.

Como resumen final a estas recomendaciones sobre tipología de las construcciones solamente quedaría por recordar que en zonas como ésta se debe construir de acuerdo con Normas Sísmicas. en España si bien está actualmente en fase de revisión muy avanzada, sigue siendo obligatoria la PGS-74.

## A.2. MEDIDAS DE ORDENACION EN EL AMBITO URBANO

En esencia se trata de distinguir dentro del casco urbano de la ciudad y en sus alrededores una serie de zonas en las que desde el punto de vista sísmico se tengan en cuenta los siguientes condicionantes:

- a) Usos del suelo.
- b) Condicionantes urbanísticos y arquitectónicos.
- c) Vías de comunicación y accesos principales.

### a) Usos del Suelo

Con carácter general se establecerán desde el punto de vista sísmico tres zonas:

- (1) Zonas de construcción muy desaconsejable o restringida.
- (2) Zonas de construcción tomando especiales precauciones.
- (3) Zonas aptas para el crecimiento urbano.

En relación con la excesiva proximidad a cantiles o barrancos de gran altura se recomienda:

a) Evitar construir al borde de los cantiles, dejando una distancia de seguridad variable en función de su altitud relativa respecto del pie del talud y de su pendiente. Como norma general se produce una H<sub>1</sub> de seguridad, en cabecera, que corresponde a un ángulo de 45° tomado desde el mismo pie.

b) Fundamentalmente en aquellos puntos donde la pendiente es alta y el río incide erosionando la base del talud es preciso, alejarse del cantil de la ladera. En general toda la margen izquierda del Molinar hasta su confluencia con El Barchell presenta muchas situaciones de este tipo. Señalar como ejemplo la excesiva proximidad de algunas situaciones de este tipo. Señalar como ejemplo la excesiva proximidad de algunas viviendas de la calle Sor Elena Picurell a un cantil de más de 70 m. y de una pendiente superior a los 70°, en algún caso prácticamente vertical.

c) No se debe construir en la base, del pie de taludes con pendientes elevadas o con problemas de deslizamiento y reptación.

**En relación con problemas relativos a zonas de rellenos donde el material presenta una compacidad baja y susceptible de colapso, se recomienda:**

a) Realizar estudios geotécnicos en los que se analicen las características del relleno, ver su capacidad portante y determinar la profundidad del firme.

b) Adoptar medidas en la elección de la cimentación cuando la calidad y resistencia del terreno no esté garantizada. Ir a losas o pilotajes en caso de duda. No apoyar zapatas sobre rellenos. Mucho menos si la zona se encuentra cercana a cantiles o barrancos importantes.

Las zonas de tipo (2) serán aquellas que aparecen en el Mapa de Vulnerabilidad clasificadas como zonas de vulnerabilidad alta o media. En estas zonas, que como puede observarse se sitúan "grosso-modo" orlando los cauces principales de los ríos según bandas de mayor o menor amplitud, se deberán tomar precauciones especiales atendiendo de forma meticulosa a la configuración del diseño de los edificios, y siguiendo rigurosamente las especificaciones que dicten las normas sísmicas en los edificios y construcciones de nueva planta. En el caso de edificaciones ya existentes y en particular en aquellas que son objeto de rehabilitación en el casco antiguo de la ciudad se tendrá en cuenta la posibilidad de proceder a un refuerzo sísmico de las estructuras. En estas zonas se pondrá especial cuidado en el diseño de las cimentaciones según las características del suelo.

Serán zonas de tipo (3) las zonas que aparecen en el mapa clasificadas como de Vulnerabilidad (o Peligrosidad) baja. Estas zonas se consideran como las más aptas para el desarrollo urbano, si bien deberán tenerse en cuenta las recomendaciones de diseño y tipología de las edificaciones señaladas en A.1.

Con carácter general se considera que las construcciones de especial importancia deberían situarse en la zona (3).

#### **b) Condiciones urbanísticas y arquitectónicas**

Se tendrán en cuenta como norma general las siguientes:

- Mejora de las comunicaciones interurbanas.

Dadas las peculiares características de la ciudad de Alcoy, se deberá prestar especial atención a la conservación y mantenimiento de los grandes puentes en especial de los que se comenzaron a construir en el siglo XIX: Cristina, Puente de la Pechina; y principios del XX: Canalejas, San Roque y San Jorge. En todos los casos se aconseja un estudio de estabilidad de la estructura de los mismos frente a las acciones sísmicas y en el caso de que los resultados que se deriven de estos fueran negativos se deberá proceder a su refuerzo estructural mediante la aplicación de técnicas de refuerzo sísmico adecuadas.

- Se evitará en lo posible los trazados de calles sinuosos o

tortuosos, que puedan dificultar las labores de socorro y evacuación.

- Se pondrá especial atención en el cuidado y mantenimiento de las conducciones principales de agua y electricidad.

- Se deberá fomentar la creación de zonas verdes y ajardinadas, en particular en las zonas en las que la construcción sea especialmente desaconsejable o densa.

- Se tratará de limitar el número de plantas de las edificaciones en particular en las zonas (1) y (2) definidas en el apartado anterior.

- Se prestará especial atención en las zonas (1) y (2) a los elementos arquitectónicos más vulnerables, procediendo al refuerzo de cornisas, balcones y cualesquiera otros elementos en voladizo. También se recomienda prestar especial atención a los cerramientos procediendo al zunchado de fábricas discontinuas, aislando las conducciones y servicios de la estructura de edificio y disponiendo juntas sensibles.

### **c) Vías de comunicación y accesos principales**

En el caso de catástrofe sísmica, resulta de vital importancia asegurar el mantenimiento de las vías de acceso y evacuación. Para ello deberán vigilarse los accesos a la ciudad prestando especial atención a taludes y terraplenes de carreteras que conecten con vías principales. Se vigilará también el estado de los puentes de carretera (en especial los de la N-340 por el Sur), así como de las trincheras y puentes del ferrocarril Alcoy-Valencia.

Se consideran, en principio, válidos y en buenas condiciones todos los grandes puentes de la ciudad con lo que la evacuación sería fácil e inmediata, accediéndose por varios puntos a la zona considerada más vulnerable, que es el centro histórico de la ciudad. No obstante para un sismo de intensidad VIII o IX es muy probable que únicamente permaneciese el Puente de Fernando Reig, (construido teniendo en cuenta criterios sismorresistentes).

De esta forma queda perfectamente comunicada toda la ciudad excepto la zona del Viaducto. Esta zona quedaría semiaislada con una única posibilidad de escape hacia la carretera comarcal de Onteniente (3313).

El resto de la ciudad se podría evacuar a través de la Nacional 340 (Barcelona-Cádiz) hacia Alicante como ciudad importante más inmediata, por esta misma en dirección contraria hacia Valencia por Cocentaina o por la Comarcal-3313 que conduce también a Alicante por Bañeres y Villena. Esta última puede tener graves problemas a la altura del Alto de Castellar. Son muy probables los desprendimientos en este punto. La carretera 340, hacia Alicante por Jijona tiene un tramo de pendientes rocosas abruptas, en los Montes de la Jerra. También aquí son probables los desprendimientos.

### 9.3. B) RECOMENDACIONES PARA SU APLICACION EN PROTECCION CIVIL

Con vistas a la redacción de un Plan de Actuación para el caso de catástrofe sísmica que se aplicase con carácter local al ámbito territorial de Alcoy, deberán tenerse en cuenta, con carácter general, los siguientes aspectos:

1) El fenómeno de desastre puede entenderse como un proceso formado por cuatro grandes fases: fase de normalidad, fase de preemergencia (o período de crisis), fase de emergencia y fase de recuperación. Las catástrofes sísmicas son hoy por hoy prácticamente impredecibles. Consecuentemente no existe fase de preemergencia, esto quiere decir que el acontecimiento catastrófico se produce sin que haya tiempo de detectar la amenaza que constituye la actualización del riesgo.

2) El plan deberá redactarse para un sismo de diseño que contemple la acción más desfavorable del mismo modo que se ha recomendado para otros planes de actuación en situaciones de riesgo sísmico similares.

3) Deberá abordarse un plan que tenga en cuenta la distribución heterogénea de los daños en función de la diferencia de vulnerabilidad obtenida para las diferentes zonas de la ciudad. Aun teniendo en cuenta este aspecto deberá pensarse que el área gravemente afectada puede ser el conjunto del casco urbano.

4) Es conveniente estudiar cuidadosamente las rutas de evacuación y abastecimiento. Convendrá estudiar detalladamente la probabilidad de que las carreteras principales N-340 y CC-3313 pudieran quedar cortadas en algunos tramos próximos al casco urbano por desprendimientos, deslizamientos o acumulación de cascotes al atravesar dicho casco urbano. Es posible que también quede fuera de servicio el ferrocarril que une Alcoy y Valencia.

5) El hecho de que la ciudad por sus especiales características topográficas esté compartimentada en cinco grandes áreas puede constituir un problema importante a la hora de organizar las ayudas, evacuación o abastecimiento de los damnificados. Cabe destacar la posibilidad de que alguna de estas áreas quede aislada del resto de la ciudad por rotura o daños importantes que dejen fuera de servicio a alguno de los grandes puentes que la conectan con el resto. Esto reviste especial importancia en el caso del barrio del Paseo del Viaducto. Las zonas de la ciudad situadas por debajo de la cota del viario principal actual (fondos de los barrancos, fábricas del Barchell y Molinar, zonas de borde próximas a los cauces de los ríos, etc.) podrían quedar aisladas complicando enormemente las acciones de evacuación o ayuda.

6) En zonas del casco antiguo de la ciudad el trazado sinuoso y la escasa anchura de las calles puede dificultar considerablemente tanto el acceso como las salidas.

7) Los daños indirectos que pueda ocasionar el sismo, a causa de desprendimiento y deslizamientos tenderán a agravar la situación

en las zonas afectadas, en particular en zonas próximas al Molinar. Las fábricas y construcciones situadas al pie de taludes importantes pueden llegar a sufrir graves daños incluso destrucción por este motivo.

8) Puede ser grave el problema del abastecimiento de agua de la ciudad. En casos de movimientos a sísmicos importantes se ha citado a menudo la enorme sensibilidad a este tipo de acciones, de flujo de las aguas subterráneas, produciéndose a consecuencia de estas a consecuencia de estas, frecuentes cambios en el régimen, secándose pozos o cambiando el nivel de agua en los mismos. Esto podría dar lugar a un desabastecimiento por un periodo de tiempo relativamente largo por lo que se deberá tener en cuenta para garantizar el suministro mediante otros sistemas. Se debe prever así mismo que queden cortados algunos tramos de las conducciones principales de agua: especialmente vulnerable en este sentido es la conducción que desde los pozos del Molinar se dirige hacia la loma de Cantagallet atravesando un deslizamiento muy importante que con cabecera en dicha loma se dirige hacia el río Molinar.

9) No se espera que puedan producirse conflagraciones o incendios de grandes proporciones al no existir acutalmente en la ciudad conducciones de gas ni tampoco depósitos importantes de combustibles o de gases licuados, ni de materias inflamables. Tampoco son de temer mayores daños a causa del sismo por la emisión de productos tóxicos al carecer la ciudad de industrias contaminantes o peligrosas y no existir en la misma en la actualidad almacenes o depósitos enterrados de productos tóxicos o radiactivos.

Se debe destacar que el parque de servicio contra incendios de la ciudad está situado fuera del casco urbano, en el término Municipal de Cocentaina y es parque provincial. No existe parque de maquinaria de obras públicas de carácter municipal.

10) Deberá tenerse en cuenta la distribución heterogénea de la población dentro del casco urbano. En este sentido es de especial relevancia la gran concentración de población que hay en la zona de Santa Orosia-Oliver.

11) Se considera que los centros de acogida primaria para la población deberán ser los colegios de los que existe un buen número y su distribución en todo el área del casco urbano es suficientemente homogénea.

12) Deberá tenerse en cuenta y advertir a la población de la posible repetición de los movimientos en forma de réplicas de evento principal cuya magnitud, si bien decreciente con el tiempo podría dar lugar a nuevos daños.

13) En cuanto a posibles daños en la infraestructura viaria no es previsible que se produzcan cortes importantes en la carretera N340 entre Cocentaina y Alcoy. Dentro del casco urbano de Alcoy esta carretera discurre aproximadamente en dirección N-S haciendo una inflexión para atravesar los puentes de Cristina y San Roque

o bien el Puente de Fernando Reig. Durante este tramo los daños y cortes que puedan producirse serán los que se deriven del daño que sufra el propio tejido urbano (en particular de lo dañado que resulten los puentes citados).

En esta misma carretera entre Pla de Botí y el Teular, podrán producirse cortes dada la proximidad de la misma a las cabeceras de los deslizamientos que en esta zona se manifiestan en los taludes del Molinar. En la cabecera de este último podría quedar cortada la carretera por daños del puente que cruza el barranco entre el Monte de la Jerra y el Alto de Florencia, con lo que quedaría también fuera de servicio a efectos de ayuda o evacuación el tramo de carretera local que une por el Sur la N-340 con la comarcal 3113 en dirección a Calloso de Ensarriá.

## BIBLIOGRAFIA

AI'CHICO TANAKA Y KENJI MIGITA (1986): A metod do determine the kind of ground for seismic microzoning by using Dr. KAKAI'S microtremors observations. Kamamoto Institute of Technology and Kamamoto University, Japan. 5th IAEG Congress. Buenos Aires.

ANUARIO DE ALCOY (1989).

ARENILLAS PARRA, M. y BISBAL CERVELLO, L. (1985): "Sismicidad y Riesgo Sismico en Castellón, Valencia y Alicante". En Catástrofes Naturales. Publicaciones de la Cátedra de Geología Aplicada a las Obras Públicas. Univ. Polit. de Valencia. ETSICCP, mayo 1985.

BELES, A.; IFRIM, M.; GARCIA YAGUE, A. (1975): Elementos de ingeniería sísmica. Ed. Omega.

BERENQUER, J. (1977): Historia de Alcoy. Excmo. Ayuntamiento de Alcoy.

CEDEX (M.O.P.U.) (1984): Ingeniería Sísmica aplicada a las Obras Públicas. 2 tomos.

CELEBI, M. Topographical and geological amplifications determined from strong-motion and aftershock records of the 3 march 1985 Chile earthquake, Bulletin Seismological Society of America, Vol 77, No 4, august 1987.

COMISION PERMANENTE DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1974): Norma Sismorresistente P.D.S. Decreto 3209/1974 de 30 de Agosto. BOE nº 279.

COMISION NACIONAL DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1989): Borrador de la Nueva Norma Sismorresistente (versión de septiembre, 1989).

CORTES MIRALLES, J.M. (1976): "El crecimiento urbano de Alcoy en el Siglo XIX". Excmo. Ayuntamiento de Alcoy.

CORTES MIRALLES, J.M. (1986): Los pequeños puentes urbanos de Alcoy. Excmo. Ayuntamiento Alcoy.

CUENCA PAYA, A. (1971): "Datos para un estudio de la tectónica reciente al Sur de Alicante". Rev. del Inst. Est. Alicantinos, 8, 21-46.

DEZA, E. M. (1974): "Seismic microzonig in a broad sense. Seismological microzonig". Inst. Geof. de Perú. Ministerio de Educación. 2nd. Intern. Congress of the inter assoc. of engineering geology.

ESCARIO, V. y URIEL, A. (1987): "Fuerzas laterales inducidas en una pila del Viaducto de Canalejas por un relleno estabilizador". Comunicación. Simposio Internacional "Interacción Suelo-Estructura, París, 1987. En Ingeniería Civil/65 pp. 37-42. Núm. 65/1988.

ESTEVEZ, A. et Al. (1986): "Aportación al conocimiento neotectónico del Sudeste, provincias de Alicante y Murcia". 1ª

Jornadas de estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia.

GARCIA YAGUE, A. (1987): "Previsión de terremotos y diseño antisísmico". En Riesgos Geológicos. Serie Geolog. Ambientel. IGME.

GOMES COELHO, A. (1986): Engeneering geological mapping for seismic microzonation. Laboratori Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 5th. IAGE Congress. Buenos Aires.

GONZALEZ, J.L. (1989): Gestión de desastres en la fase de Preemergencia". Comunicación. Ministerio de Transportes Turismo y Comunicaciones. Madrid.

GOY, J.L. et. al. (1989): "Anomalías geomorfológicas ligadas a actividad neotectónica durante el Cuaternario en la cuenca neógena de Alcoy (España)". 2ª Reunión sobre el Cuaternario Ibérico. Madrid.

GROUPE DE RECHERCHE NEOTECTONIQUE DE L'ARC DE GIBRALTAR, (1977): "L'histoire tectonique récente (Tortonien a Quaternair) del'Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboral". Bull. Soc. Geol. France (7). T. XIX, 3, 576-614.

IBARGUREN SOLER, J. (1986): "Microzonación sísmica de la Huerta de Murcia". Comunicación 1ª Jornadas de estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia.

I.G.M.E. (1975): Mapa geológico de España, E:1/50.000. Alcoy Segunda serie. Primera edición. Madrid.

I.G.M.E. (1985): "Mapa geotéctonico y de Riesgos Geológicos para la ordenación Urbana de Alcoy. Mapa de riesgos geológicos. Escala 1/25.000, 1/1.000. Memoria.

I.G.N. (1984): "Comunicaciones y Ponencias". Asociación Europea de Ingeniería Sísmica. XI Seminario Regional. Granada, 1984.

KARNIK, V. y ALGERMISSEN, S.T. (1980): Zonificación sísmica en Terremotos. UNESCO, Ed. Blume, Barcelona, 1980.

LOPEZ CASADO, C. et al. (en prensa): Aportación al conocimiento sismotectónico del Sudeste de España. Ensayo de delimitación de fuentes sísmicas". Mediterránea Univ. de Alicante.

LOPEZ MARINAS, J.M. (1976): Ensayo de compartimentación en bloques sismotectónicos del Sureste español. Asamblea Nacional de Geodesica, T.I., 507-514. Madrid.

MARTI, J. (1964): Guía del Forastero de Alcoy. Excmo. Ayuntamiento de Alcoy.

MARTIN MARTIN, A.J. (1983): Riesgo sísmico en la Península Ibérica. Tesis Doct. Ing. Universidad Politécnica de Madrid. 259 pág. 59 mapas, 97 figuras, 25 tablas.

MARTIN MARTIN, A.J. y SIERRA GOMEZ, J. (1983): "Nuevos mapas de

riesgo sísmico de la Península Ibérica, obtenidos mediante la distribución de Gumbel tipo I". IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, T.I., 309-323. Madrid.

MARTIN MARTIN, A.J. (1985): Plan de actuación para caso de catástrofe sísmica: aplicación a la provincia de Córdoba. I.G.N. Informe para la Dirección General de Protección Civil. Sevilla, 165 pp.

MARTIN MARTIN, A.J. (1986): "Consideración del fenómeno sísmico en la Ordenación del Territorio". Condiciones que deben reunir las ciudades. 1. as Jornadas de estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia.

MARTIN MARTIN, A.J. y GARCIA YAGUE, A. (1986): Estimación para su aplicación a Protección Civil, de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en Andalucía. I.G.N. - MOPU.

MARTIN MARTIN, A.J. y GARCIA YAGUE, A. (1989): " Estudio paramétrico del riesgo sísmico en la Península Ibérica". Curso de Especialización en Ingeniería Sísmica. T. III Riesgo Sísmico. Inst. Eduardo Torroja. Madrid.

NORMA BASICA DE LA EDIFICACION (1988): "Acciones en la edificación NBE-AE-88. Cargas Sísmicas ECS-88". Direcc. General para la Vivienda y Arquitectura. MOPU. Madrid.

PIERSON D'AUTREY, L. (1987): Sedimentación et structuration synsedimentaires dans le bassin neogene d'Alcoy (Cordillères Bétiques externes orientales - Espagne). These d'Universite de Paris-Sud. (Centre d'Orsay).

SACHANSKI, S. y HADYIISKI, K. (1986): "Detailed microzonation determination of desing seismic characteristics of a given construction site". VIII European Conference on Earthquake Engeneering. Vol. 2. Lisboa.

SANCHIS LLORENS, R. (1986): Memorias sobre antigüedades de Alcoy. Ed. Caja de Ahorros de Alicante y Murcia. Alcoy.

SANZ DE GALDEANO, C. (1983): La neotectónica de las Cordilleras Béticas. En Libro Jubilar, J.M. Ríos sobre Geología de España T. II 469-486. IGME. Madrid.

SAUTER, F. (1989): "Conceptos de estructuración sismorresistente". Cursos de especialización de Ingeniería Sísmica. T. VI. Diseño Sismorresistente de estructuras de hormigón armado. V.I. Inst. Eduardo Torroja. Madrid.

SAUTER, F. (1989): Fundamentos de Ingeniería Sísmica. Vol I Introducción a la Sismología. Ed. Tecnología de Costa Rica.

STUDER, J.A. y ZIEGLE, A. (1986): "The geotechnical aspect of microzonation". VII European Conference on Earthquake Engeneering. Vol. 2. Lisboa.

TYRWHITT, J. (1959): "Surveys for planning". In: APRR (Ed.), Town Country Planning Tex Book. The Architectural Press, London.

VILAPLAN, J. (1977): Historia Religiosa de Alcoy. Publicación de la Excma. Dip. de Alicante. Alicante.

## **INVESTIGACION Y DISEÑO DE MEDIDAS CORRECTORAS EN UNA LADERA INESTABLE EN BOO (ASTURIAS).**

**MULAS DE LA PEÑA, Joaquín. ITGE**  
**LAGUNA MEGAL, Luis-Miguel. ITGE**

### **RESUMEN**

Como consecuencia del fenómeno de inestabilidad de ladera ocurrido a mediados de Marzo de 1991 en una zona concreta del Poblado de Boó (Asturias), se efectuaron una serie de actuaciones sobre el problema generado, estas consistieron en un primer análisis y propuesta de medidas inmediatas. Ante el desarrollo que estaba tomando a finales de Mayo. Se realizaron una serie de trabajos de investigación con vistas a poder definir mejor el modelo geológico-geotécnico de la inestabilidad y así poder acometer con medidas correctoras razonables según los resultados obtenidos. Paralelamente se realizaron obras al margen de las recomendaciones del ITGE, que son parte de las causantes del estado actual; donde la inestabilidad se ha reactivado y ahora parece comenzar a afectar a las viviendas de más abajo; en la Vega de Boó.

### **INTRODUCCION**

A instancias del Servicio de Minas del Principado de Asturias nos fue requerido en Mayo de 1991 un estudio conducente a determinar aquellos aspectos del fenómeno de inestabilidad desencadenado en una ladera en Boo (Concejo de Aller, Asturias) y proponer las medidas inmediatas y definitivas de corrección que consideramos. El ITGE desde primeros de Junio de ese año ha enviado una serie de informes relativos a recomendaciones y medidas inmediatas, habiéndose comprometido a enviar un estudio final fruto de las investigaciones realizadas que contenga propuestas de corrección definitivas.

En lo que respecta al planteamiento seguido en la presente comunicación, se tendrá en cuenta que la situación actual es fruto de actuaciones en la ladera al margen de las recomendaciones dadas por este Instituto, habiendo modificado la situación del area de estudio, por lo que los aspectos sobre medidas correctoras que comentaremos mas tarde los dividiremos en dos partes según la idoneidad de las medidas adoptadas y las propuestas por nosotros.

La presente comunicación hace hincapié en la investigación realizada, sus resultados y las medias propuestas no adoptadas todavía en el talud.

### **SITUACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El Poblado de Boo en el Concejo de Aller, pertenece al Principado de Asturias. Se encuentra dispuesto sobre la falda Este de las estribaciones septentrionales de la Sierra de Carroceda, ladera Sur del Valle del rio Aller.

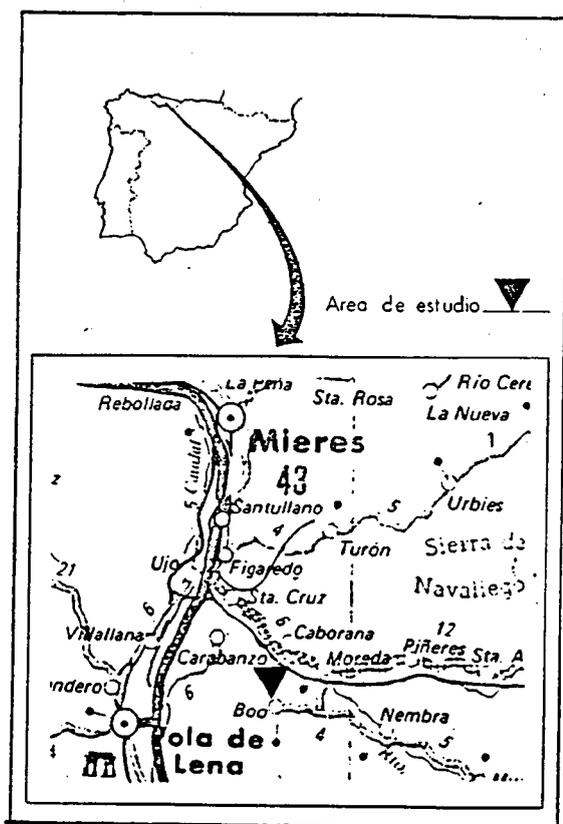


Fig. 1.- Situación geográfica

El acceso por carretera, una vez en Moreda es por la carretera local de segundo orden AE-2 que lleva a Boa (a 3 Kms).

Las edificaciones que componen este pequeño núcleo rural dispuesto sobre la ladera entre las cotas +400 y +550 m. son, principalmente viviendas unifamiliares aisladas o adosadas, con algunos bloques de viviendas en línea, de promoción pública, de tres plantas.

#### GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

La zona está ubicada en plena Cuenca Carbonífera Central Asturiana. Los materiales del sustrato pertenecen al paquete Sotón que componen la Cubeta del Tarancón y Melendros (ENADIMSA, 1972) correspondientes a los campos de explotación del Pozo Santiago-Aller.

Los materiales que afloran en la ladera son una alternancia de areniscas, areniscas pizarrosas y pizarras en niveles decamétricos con intercalaciones de capas de carbón de diversos espesores, algunos explotables (capa inferior de grupo de Boa) y otras no (carboneros). El buzamiento medio de estos estratos es (5/10%) en dirección NW. La totalidad del paquete Sotón es de edad Westfaliense.

El area problemática está formada por terrenos coluviales cuaternarios de matriz limo-arcillosa con cantos angulosos de pizarras y areniscas de tamaños milimétricos a centimétricos.

Como elemento tectónico cercano a la zona de la inestabilidad esta la Falla F<sub>1</sub>, esta falla ha sido detectada en explotaciones mineras de interior de la empresa HUNOSA en la zona en estudio. La intersección de dicha falla en superficie no se identifica con facilidad, habiéndose dado en un primer momento su posición relacionada con el resalte morfológico situado entre Puenxio y las casas afectadas hacia la parte baja de la ladera, un reconocimiento detallado realizado posteriormente a desencadenarse el fenómeno permite suponer mas razonablemente que su manifestación es ladera arriba de las viviendas, en contacto con las aflorantes de arenisca y pizarra.

Medidas de buzamiento realizadas en afloramientos de rocas al N en línea de cota coincidente con los Cuarteles de Puenxio, parece ser un argumento que avala la hipótesis de que los estratos del sustrato debajo de Puenxio bucan en un sentido favorable a la pendiente y por tanto a la inestabilidad del coluvión superficial.

La morfología del terreno presenta una configuración en bancales, típico de

la disposición horizontal de los estratos y la diferente respuesta a la erosión de pizarras (- resistentes) y areniscas de grano grueso

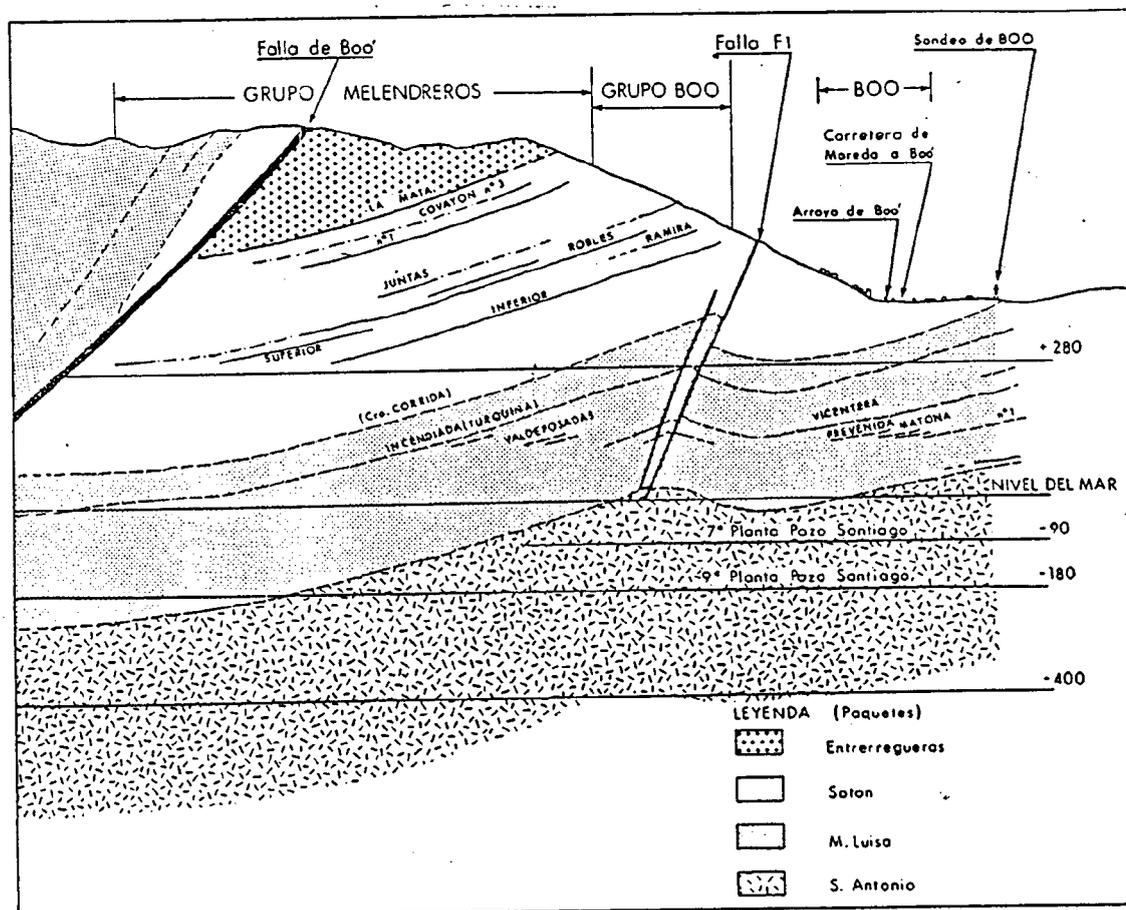


Fig. 2.- Corte geológico adaptado del Estudio del Sector Aller. ENADIMSA 1972.

(+resistentes) que se alternan.

Tres rupturas de pendiente se sitúan en las cotas +450 m, +478 m y 485 m. Por encima de 478 m la inclinación media es de 35°, por debajo un importante resalte morfológico de 28 metros de diferencia de cota, compuesto por coluvión cuaternario causado por la denudación de los relieves que hay encima. Se pueden intuir algunos puntos con inestabilidades fósiles, fenómenos visibles de reptación en la vegetación. Son materiales de elevada porosidad propensos a rápidas recargas de agua. Por debajo de estas cotas se atenúa la pendiente conectando con una zona llana correspondiente a la Cubeta del Tarancón. Se dan importantes valores de recubrimiento (25 ms) en parte por la meteorización "in situ" del sustrato carbonífero.

## DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### Antes de Mayo de 1991

- Agrietamiento de poca significación en edificios que estaban ubicados en la zona afectada, se relacionó con las explotaciones mineras.
- La explotación de capas ladera arriba de la zona afectada llevada a cabo desde primeros de siglo a 1962 por el "Grupo de Boo" de la sociedad Hullera Española, no provocaron ningún efecto reseñable a la actual zona de desestabilización.
- Grietas en los Cuarteles de Puenxio (principal grupo de viviendas afectadas actualmente) y desaparición de diversas surgencias de agua en la misma zona como consecuencia de fenómenos de subsidencia. Por el laboreo de capas, capa Incendiada o Turquina de la Unidad Santiago-Aller (antes pozo Aller) por HUNOSA, iniciado a finales de los sesenta, la explotación llegó a penetrar hasta áreas situadas en la vertical de la ladera desestabilizada (afectada también entonces), lo que redundó en la posibilidad de afección.
- La explotación de Incendiada se para en 1972 y permanece inactiva en la actualidad. Otras capas del paquete Sotón como son las capas Mariana y Molino se siguen explotando actualmente. Este laboreo no ha llegado a más de 350 m de la zona afectada y se realizó a una profundidad media de 350 m.
- Estudios de subsidencia minera realizadas por HUNOSA de las hulleras explotadas antes mencionadas, indican que no existe relación entre dicho laboreo y la inestabilidad desarrollada (HUNOSA, MAYO 91, PEINADOR Et al 1991)

El método de cálculos se basa en un método informatizado de evaluación diseñado por HUNOSA denominado HUNSUB.

- También el control de los movimientos mediante la implantación de una red de mojones en malla de 50 x 50 metros del poblado de BOO no ha detectado ningún movimiento excepto los correspondientes a la zona inestabilizada de la ladera de Boo, por lo que para HUNOSA se trata de un fenómeno superficial y localizado en una determinada zona de la ladera, achacable a factores no mineros.

### Inicios del problema actual

Se inició los días previos a la Semana Santa (Marzo 1991) provocando el agrietamiento de los Cuarteles de Puenxio (Edificios de vivienda de planta baja más un piso, de cimentación superficial sobre muro corrido de mampostería) y otras tres casas situadas ladera abajo de los mismos. Las grietas desarrolladas en cabecera en esta fase tenían una dirección subparalela a un sistema natural de diaclasas existente en el macizo paleozoico aflorante. Las grietas de las tres casas situadas ladera abajo eran de cizalla horizontal fruto del empuje de los materiales del pie.

### Evolución Mayo/91-Julio 91

En los meses de Abril y Mayo, el movimiento fue muy lento; las grietas eran pequeñas y aún no se había desalojado a la gente.

La noche del 24 de Mayo, los habitantes de Puenxio notaron lo que describen como un "temblor de tierra", y al partir de ese momento, el fenómeno se aceleró notablemente.

La grieta que discurría por la calle entre los dos Cuarteles se evidenció como una posible grieta de cabecera de deslizamiento, produciéndose un salto que pasó en el punto de mayor desplazamiento de medir 10 cm el 31 de Mayo a 160 cm el 8 de Julio.



Fig. 3.- Grieta entre Los Cuarteles, el 31 de Mayo.

En este período de tiempo, la grieta que afectaba a las casas ladera arriba de los Cuarteles, no sufrió desplazamiento considerable.

La casa que en un principio tuvo mayor afección por plano de cizalla se derrumbó totalmente, se desplazó alrededor de 3 m.

Siguiendo la dirección del plano de cizalla desarrollado en las viviendas ladera abajo de Puenxio, y coincidiendo con un corte del mismo por la superficie topográfica, se desarrolló una arruga o pliegue del suelo de los prados (hacia el 11 de Junio), de unos 35 cm de altura. Este pliegue creció en solo 4 días, y avanzó durante ese tiempo unos 150 cm ladera abajo; en los alrededores de dicho pliegue se produjo abundante expulsión de agua.

Se desarrollaron también varias grietas transversales que acabaron de definir geoméricamente en superficie el área inestable.

Una de estas grietas transversales afectó al depósito de agua del pueblo, situado al lado del cuartel superior (al lado Sur). Esta grieta provocó la pérdida de agua del depósito, que seguramente fue a parar al subsuelo de la zona inestable, detectándose una surgencia de agua ladera abajo totalmente relacionada con la pérdida del depósito.

Diversos cambios se detectaron en los flujos subterráneos de agua, como el encharcamiento producido en la zona de arruga o pliegue del prado; buena parte de la ladera en esa zona y más arriba estaba rezumando agua. Algunas de las surgencias cartografiadas en Abril (zona S del frente del empuje) dejaron de observarse al avanzar en esa zona el frente alrededor de 3 m, y cerrar el camino que existía entre la ladera y las casas.



dominio de frecuencias (SEMDF) y Perfiles electromagnéticos en dominio de frecuencias (PEMDF).

- \* Sondeos geotécnicos con extracción de testigo continuo y colocación de tuberías piezométricas e inclinómetros.
- \* Tomas de muestras y ensayos de laboratorio (Humedad natural, densidad aparente y seca, peso específico, límites de Atterberg, plasticidad, granulometría, compresión simple, corte directo remoldeado y lento con consolidación previa).

#### Replanteos

Los datos que se iban obteniendo determinaron replanteos de la campaña por los siguientes motivos (LAGUNA et al. 1991).

- \* Confirmación de que la falla F1 pasaba por el resalte situado ladera arriba de los Cuarteles de Puenxio.
- \* Confirmación de que el coluvión llegaba hasta dicho escarpe.
- \* Espesor del coluvión mucho mayor del esperado.
- \* Aparición de niveles de gravas en profundidad irregularmente distribuidos e inesperados a priori; su velocidad de propagación de las ondas sísmicas era menor que el recubrimiento arcilloso, lo que enmascaraba la detección del sustrato inalterado en dichas zonas.
- \* Velocidad de propagación de ondas sísmicas por el coluvión con valores más altos de lo esperado.
- \* Espesor de la zona de alteración del sustrato rocoso y grado de alteración del mismo, mayor del esperado.
- \* Contraste entre los valores de los parámetros medidos insuficientemente en numerosas ocasiones para distinguir contactos con claridad, especialmente entre gravas y sustrato alterado.
- \* Detección de acuíferos confinado con circulación preferencial por la zona gravas-sustrato alterado con surgencia de agua a presión en la zona de pie de la ladera inestable.

Los replanteos que sufrió la campaña de investigación por los motivos citados fueron los siguientes:

- \* Ejecución de 6 sondeos, en lugar de los 4 previstos inicialmente. Se recomendó la ejecución del S5 y S6.
- \* Alargamiento de perfiles P1 y P5, acortamiento del P4 y realización del P3 y P6.
- \* Aumento de la profundidad de perforación en algunos sondeos respecto a la prevista.
- \* Realización de Sondeos electromagnéticos en dominio de tiempo (SEDT), con el objetivo principal de detectar la profundidad del sustrato inalterado, no detectada claramente por otros medios. Se realizarán un total de 19 SEDT.

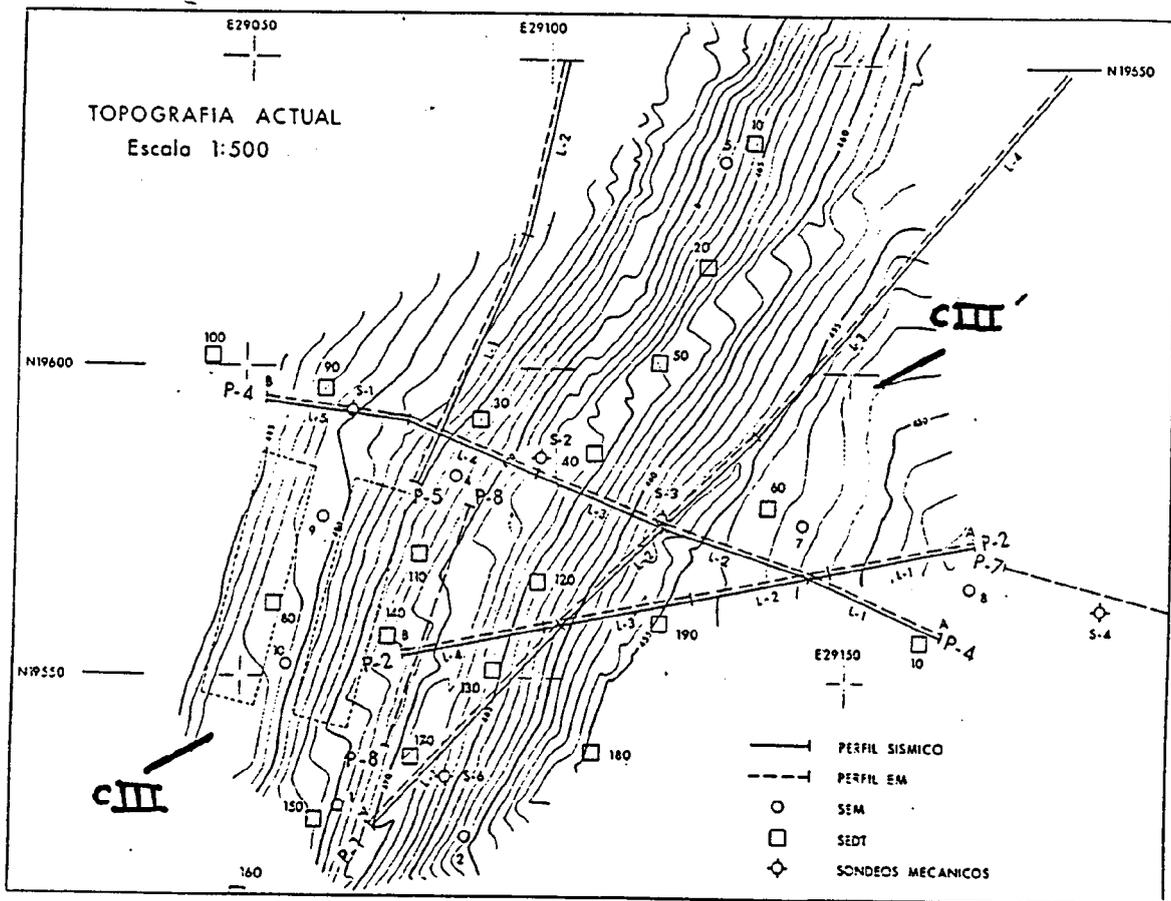
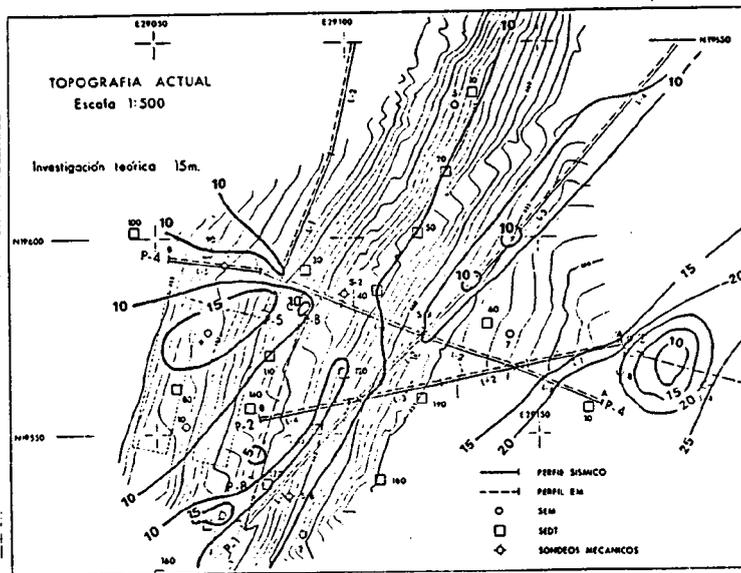
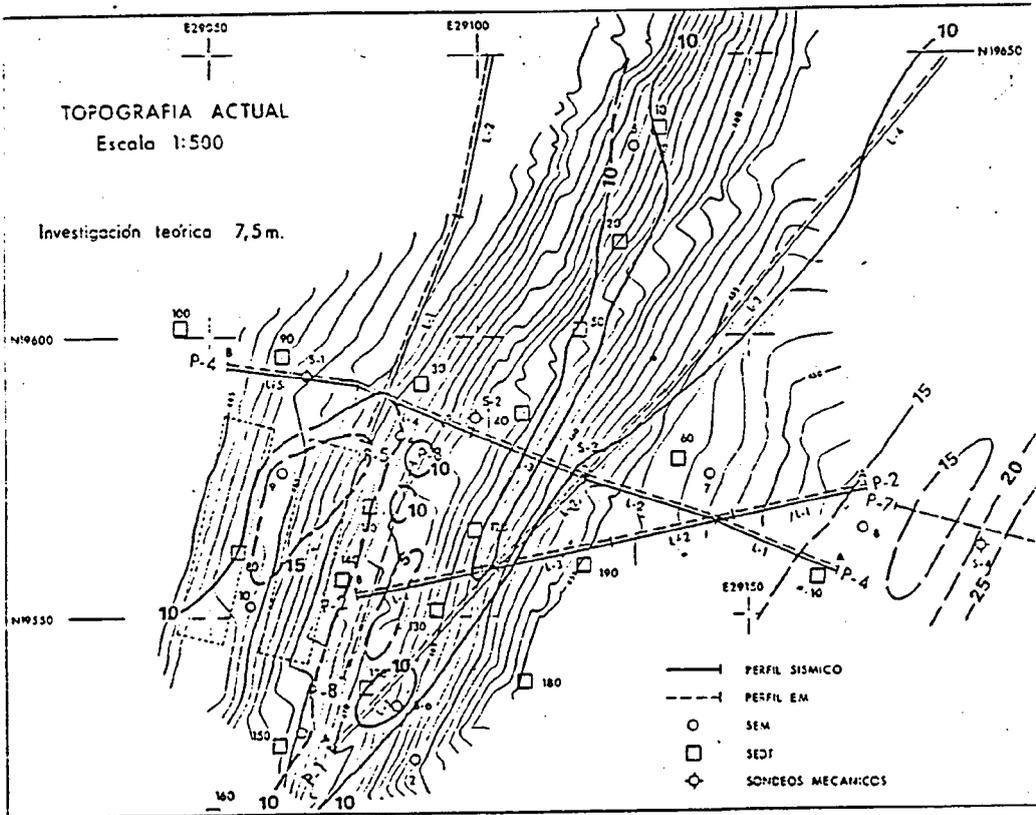


Fig. 5.- Plano de situación de la investigación referida a la topografía actual.

### Geofísica

Los estudios geofísicos por sí mismos no pueden aportar soluciones específicas al problema de la inestabilidad sino que sus resultados han de integrarse con el resto de la información geotécnica al objeto de contrastar la validez del modelo geológico-geotécnico que finalmente se establezca.

En líneas generales los resultados obtenidos de los trabajos geofísicos pueden considerarse coherentes entre sí y con los rasgos geológicos dominantes en la zona de trabajo.





- c) El método sísmico de refracción alcanzó una penetración media de unos 20 m. Ello permitió definir la posición del basamento rocoso únicamente en zonas concretas donde éste se localiza a una profundidad inferior a la citada.

Con todo los resultados de la sísmica de refracción han venido condicionados por dos circunstancias principales:

- El carácter muy compacto de las arcillas con velocidades próximas a 2000 m/seg.
- El hecho de que las velocidades características del basamento rocoso sean relativamente bajas ya que oscilan entre 2000-2800 m/seg. aproximadamente.

Debido al primero de los puntos anteriores no es factible detectar la presencia de los niveles de gravas situados en la base del coluvión dado que su velocidad ha de ser del orden de 1600-1700 m/s. En todo caso es inferior a la de las arcillas compactas y por ello éstas ejercen un efecto pantalla.

El reducido contraste de velocidad entre arcillas y basamento conlleva un cierto grado de incertidumbre en la interpretación de la naturaleza de determinados refractores. Únicamente la información obtenida de los sondeos mecánicos puede ayudar a la resolución de este problema.

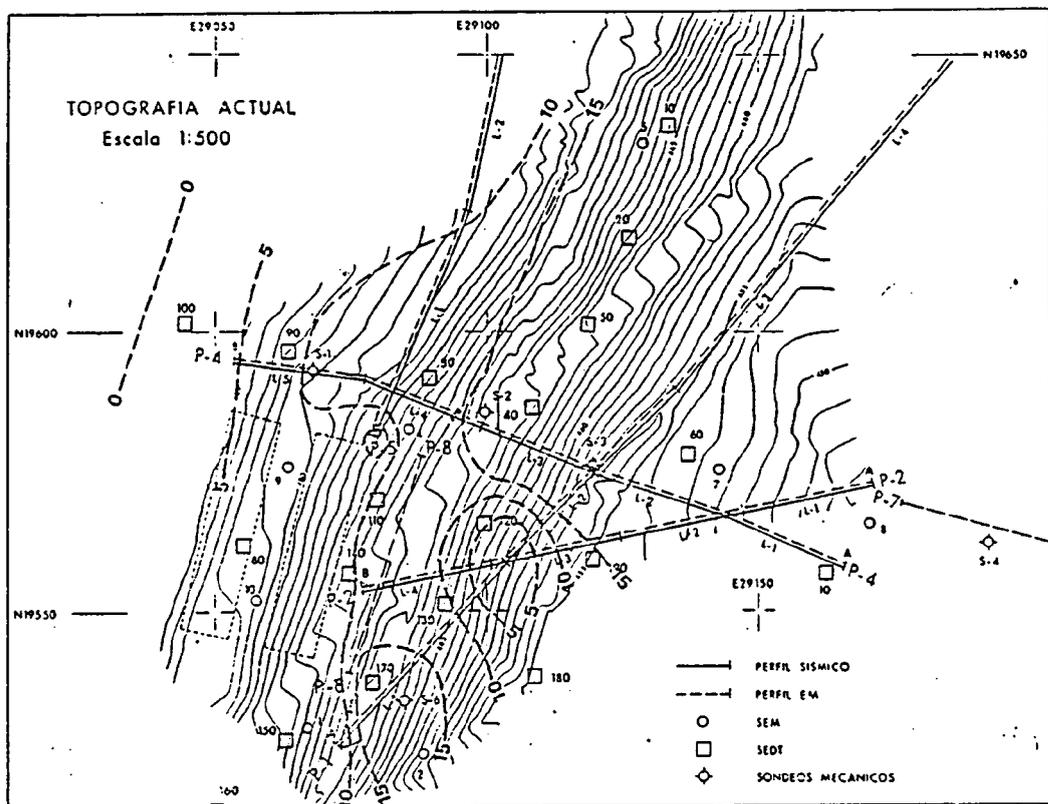


Fig. 7.- Plano de isopropfundidades del sustrato a partir de sísmica de refracción y sondeos mecánicos.

- d) Los SEDT han contribuido a la determinación del espesor del coluvión. Por tratarse de la última fase de los trabajos geofísicos, sus emplazamientos se establecieron en los puntos de mayor interés. En sus resultados es factible apreciar de manera evidente aunque esquemática, la posición del contacto entre coluvión y el techo no alterado de pizarras y areniscas.

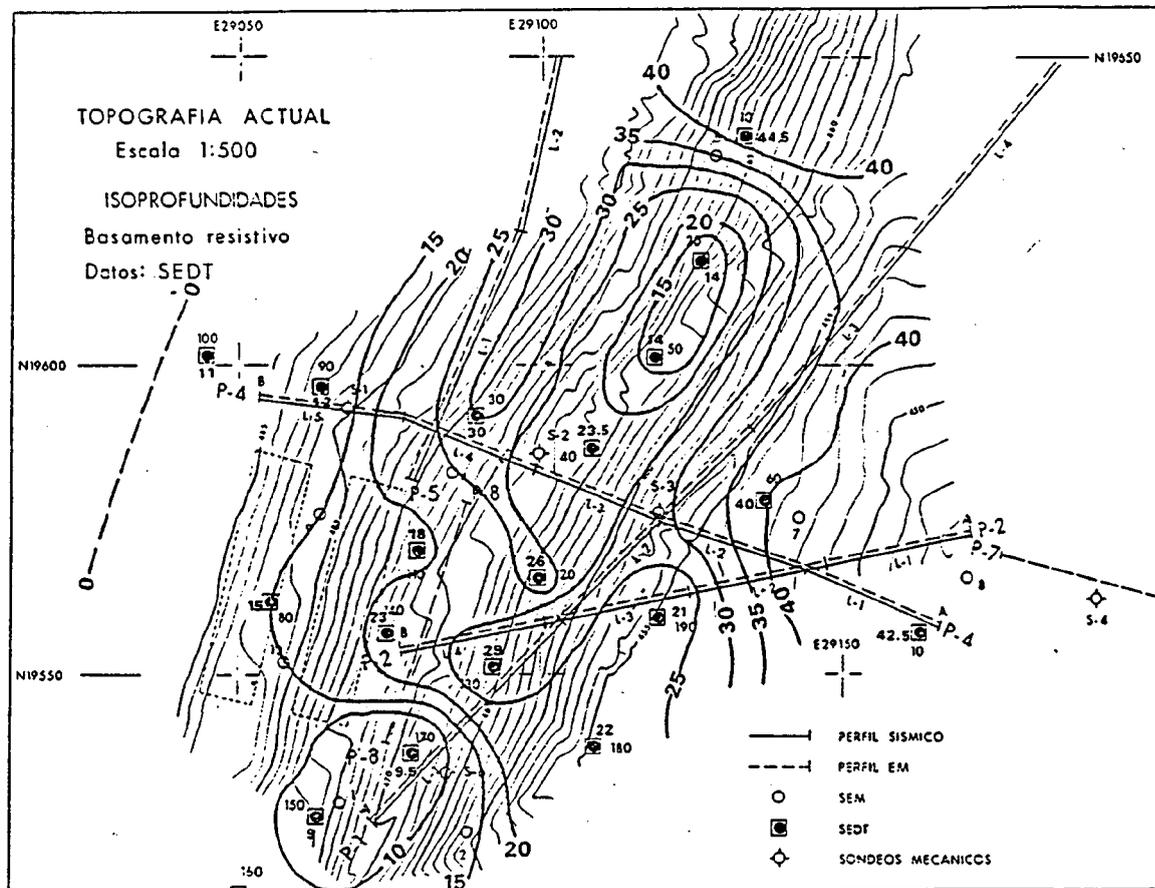


Fig. 8.- Plano de isopropfundidades del sustrato paleozoico a partir de los SEDT. Escala reducida de 1/500.

La resistividad característica del coluvión es coincidente, en su orden de magnitud, con la medida mediante SEM de Dominio de Frecuencias. Por su parte la resistividad del basamento aparece distorsionada con valores que estimamos más elevados que los reales. La integración de la geofísica con los datos de los sondeos nos permite tener un conocimiento más ajustado tridimensionalmente de la geometría y distribución de los materiales involucrados en la masa inestable (estos datos han servido para construir el modelo utilizado en el análisis de estabilidad y para la mejor ubicación de las medidas correctoras).

#### Hidrogeología

Los materiales coluviales donde se ha producido la inestabilidad están

formados por arcillas con gravas y niveles de gravas con abundante matriz arcillosa distribuidos irregularmente en toda la masa a excepción del nivel de base bastante continuo a toda la zona y de otra pasada de gravas a unos 5 m de profundidad en la parte alta del talud.

Se ha podido constatar numerosas surgencias en distintos puntos (cartografiados en los distintos mapas que se han hecho incluidos en los informes de HUNOSA e ITGE) algunos de los cuales desaparecieron en el período de movimientos más evidente para posteriormente ir trasladándose hacia las zonas inferiores de la ladera donde se dieron una serie de zonas encharcadas denominadas "llamargas".

La recarga se produce fundamentalmente por agua de lluvia en la cabecera del talud y por las grietas producidas en las distintas zonas, la circulación del agua dentro de este acuífero muy poroso y permeable se produce por escorrentía subsuperficial (FERNANDEZ et al 1992) con posibilidad de que también haya algún flujo entre el acuífero fisural del sustrato carbonífero alterado y partes más permeables del coluvión. En todos los sondeos que han alcanzado este horizonte se aprecia abundante circulación de agua a través de la red de superficies de discontinuidad (aspecto importante a considerar en la aplicación de medias drenantes).

También se detectó la presencia abundante de agua en el terreno (casas afectadas de la zona inferior) existiendo incluso una fuente no estacional, cuyo caudal medido en la fecha de estudio fue de 2l/min. (HUNOSA, Abril 1991).

Podemos concluir por tanto la presencia de un nivel freático muy estable estacionalmente y cercano a la superficie, de fácil y rápida recarga (alta porosidad primaria y secundaria y buena permeabilidad), manteniéndose durante el estío y con comportamiento artesiano en los sondeos piezométricos realizados en la zona baja S3, S4, S5.

#### Inclinómetros

El sondeo nº 2 (Fig.5) se preparó para realizar mediciones con inclinómetro para conocer aunque sea puntualmente un dato sobre evolución y velocidad del movimiento. Los ejes del inclinómetro corresponden a la línea de máxima pendiente y una transversal. Las mediciones que se obtuvieron para la boquilla del sondeo fueron:

#### FECHAS

	23-9-91	30-9-91	25-10-91
Máxima pendiente (mm)	0	49	425
Transversal (mm)	0	15	72

Las dos lecturas de inclinómetro realizadas dan desplazamientos en la dirección de máxima pendiente de aproximadamente 4,9 cm en siete días y 37,6 cm en veinticinco días, lo que indica una disminución de velocidad. En la transversal las velocidades han sido de 1,5 cm en siete días y 5,7 cm en veinticinco días con tendencia a disminuir en los metros superiores.

La observación de las curvas inclinométricas permiten saber a partir de que profundidades se han dado movimientos, siendo 15 a 16 metros (11 metros en la actualidad) en la antigua topografía (horizonte de gravas en contacto con el sustrato carbonífero). Los datos obtenidos son escasos pero permiten hacerse una idea de los valores de velocidad que se pueden dar. De datos verbales recogidos indican que la deformación máxima se produjo en un intervalo de tiempo pequeño, dando valores de 2 cm/día en la fase de máximo movimiento.

## Parámetros Geotécnicos

El siguiente cuadro (Fig. 9) presenta de manera resumida los resultados de los ensayos geotécnicos realizados en las muestras extraídas de los sondeos. No se han ensayado aquellas muestras que en principio estarían en la zona de rotura, pero pueden servir de orientación los resultados en otras profundidades ensayadas, ya que el depósito lo forman materiales compuestos de arcillas de igual naturaleza y gravas con arcillas dispuestas irregularmente, con zonas de mayor porcentaje de gravas en la base y a cinco metros de profundidad de la superficie inicial del talud. Estos datos han servido para estimar algunos valores de los diferentes tipos de suelos utilizados en el cálculo de estabilidad que realizamos a continuación.

SONDEO	PROF. (m)	HUMIDAT (%)	LL	LP	IP	TAMIZADO	SEDIMENT. (TAB. 4-1)	DENS. app. (g/cm <sup>3</sup> )	F <sub>exp.</sub>	C (kg/cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	# m
5	4 00-4 60	20.1	31.7	18.2	13.5	49.3 SC*		2.18	2.714		0.20	18
5	4 05-4 60 8 00-8.30	20.1 18.3	31.4 23.3	18.8 19.6	13.1 13.7	54.3 CL 45.3 SC		2.15	2.672 2.764		0.06 0.10	23 19
5	4 00-4 60	18.9	32.0	19.0	13.0	49.8 SC*		2.16	2.721		0.16	23
5	3 00-3 60 4 00-4.25 8 10-8.70	19.1 14.2 17.1	41.6 — 39.0	21.8 — 18.3	18.0 — 14.7	55.4 — 61.4	30.1 — 21.0	1.86 — 1.87	2.62 — 2.64	1.3 — 2.0	0.60 — 0.16	28* — 20*
5	4 05-4 60 8 00-8.15	22.4 15.5	31.6 25.2	18.2 15.0	15.4 10.2	63.3 CL 52.8 CL		— —	2.711 2.699	— —	0.16	17*

Fig. 9.- Datos geotécnicos de los sondeos.

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

A manera de ensayo con el fin de obtener de forma cuantitativa el grado de estabilidad de la ladera en las condiciones que nosotros pensamos se desencadenó el movimiento, hemos elegido uno de los cortes del terreno (Fig. 5 CORTE III) realizado en la dirección de máximo movimiento de la ladera. Se ha dividido en siete tramos (Fig. 10), según los datos geotécnicos, hidrogeológicos, sondeos, así como la situación de grietas; asignándoles una serie de valores para el cálculo del factor de seguridad mínimo, que corresponda a la superficie de rotura más inestable. Esto se ha calculado mediante el programa STABL modificado adecuadamente para utilizar el método de Bishop simplificado.

El resultado para unas condiciones que se suponen similares a las que desencadenó el fenómeno son las de máxima saturación de los materiales como consecuencia de la recarga por las fuertes lluvias ocurridas previamente.

El F obtenido es 0.9 (Fig. 10); lo que demuestra la inestabilidad de ladera en estas condiciones. Para una situación del terreno de cierta sequedad, lo valores de F salen entre 1.5 y 1.7, lo que demuestra la importancia del agua como factor desencadenante y la necesidad de adoptar medidas de carácter drenante que en el epígrafe siguiente se expondrán.

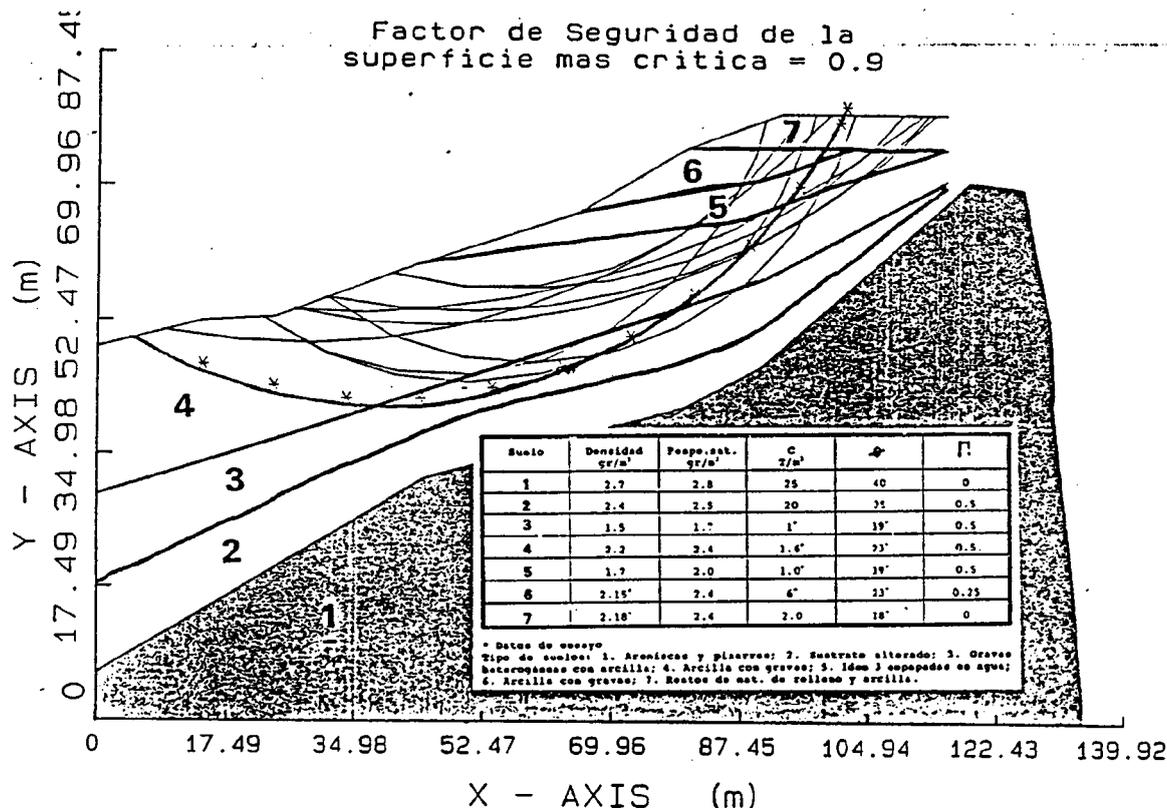


Fig. 10.- Corte nº III. Estudio de estabilidad.

**MEDIDAS CORRECTORAS**

**Comentario a las ya existentes**

Hasta el momento se han realizado las siguientes medidas:

- Modificación de la geometría del talud

- \* Descabezamiento
- \* Construcción de una berma intermedia
- \* Colocación de un tacón de escollera

- Drenaje superficial

- \* Cuneta al pie del talud, de medios tubos de hormigón

La ejecución de estas medidas, además de no haberse basado en los resultados de las investigaciones sobre el talud, suponen en algunos aspectos un factor de inestabilidad para la evolución de la ladera. Pasamos a enumerar estos aspectos, desde nuestro punto de vista, negativos:

- \* Desmante en cabecera dejando una superficie horizontal en la zona ocupada por los Cuarteles de Puenxio. Lo que aumenta la superficie de infiltración que existía en un principio, además de haberse eliminado excesivamente la superficie de vegetación lo que contribuirá también a una mayor infiltración.
- \* Se ha tapado un manantial, en vez de haberlo canalizado fuera de la

zona potencialmente inestable. La construcción de una berma, que sirva de camino de acceso por la zona inestabilizada no es una medida habitual en taludes naturales o ya construídos potencialmente inestables; aunque no negamos tenga un cierto efecto sobre el drenaje superficial.

- \* La colocación de la escollera que en un principio consideramos precipitada sin tener en cuenta los resultados de la investigación y posterior análisis de los beneficios en la estabilización de la ladera, parece en principio darnos la razón por el desarrollo de una nueva rotura que ha afectado a los Cuarteles de más abajo en la Vega de Boó, donde ya en los sótanos se ha incrementado la humedad y ha aparecido algún agrietamiento achacable a esta reactivación. Todo esto a pesar del período seco que se ha tenido. La utilización de este tipo de medidas tiene que estar muy bien sopesada y evaluarse muy bien todos los aspectos pues puede ser un claro factor de agravamiento sobre todo en este tipo de formaciones de abundante matriz arcillosa con espesores en la zona baja de más de 30 ms, la colocación de un peso extra ha podido cumplir la función contraria a la esperada.
- \* La excavación en el pie del talud para habilitar las maniobras de acceso y colocación de la escollera y de la cuneta drenante no debería haberse hecho; aunque se justificara como zona de protección.

Otros aspectos de menor entidad como son el haberse removilizado ciertas partes del suelo, supone aumentar la infiltración en esos puntos.

#### Medidas propuestas

En un primer momento a primeros de Junio se propusieron una serie de medidas inmediatas, que fueron fruto de las observaciones en la primera visita realizada a Boó por nosotros, estas consistieron en:

- Construcción de una zanja de drenaje (cuneta interceptora) de aguas de escorrentía en la parte superior del pueblo (Pendiente mínima 2% de 110 x 50 x 60).
- Captación y evacuación de las surgencias de agua fuera de la zona construída.
- Reparación e impermeabilización del depósito de aguas y la red de alcantarillado.
- Construcción de dos zanjas drenantes en la parte inferior de la zona afectada, por bataches de cinco metros.
- Instalación de testigos de control en grietas de los edificios.
- Realización de pocillos visitables (prof. 4m).

Indicamos también que si estas no tenían el efecto esperado se tendría que ir a medidas más drásticas de drenaje y de modificaciones de la geometría del talud.

Mas adelante (ITGE 1991) se fueron proponiendo las líneas generales de actuación por prioridades dado el mejor conocimiento del problema que se tenía, y viendo que para el tipo de relieve, materiales de la zona y la abundante presencia de agua aparecida en las distintas surgencias esta última era el factor desencadenante de la inestabilidad. Por esto desde el primer momento se consideró absolutamente necesario aplicar medidas de drenaje tanto superficial (referidas inicialmente) como subterráneo, pensando en este último caso en drenes horizontales sin descartar la posible utilización de pozos drenantes si no fuera suficiente para deprimir el nivel freático con esta

medida.

La conveniencia de alcanzar la zona de rotura por donde se produce el deslizamiento del terreno para mejor efectividad del drenaje ha sido tenido en cuenta. Fruto del mejor conocimiento del subsuelo (Investigaciones geofísicas y sondeos), podemos saber la longitud del varillaje en el caso de drenes horizontales o la profundidad de los pozos en caso de utilizarse esta medida y cual es la mejor colocación hacia el pie del talud actual por encima de la zona donde se manifiesta en superficie la rotura del talud.

#### Drenes horizontales propuestos:

Se realizarían en un frente de 100 m con un espaciado de 5 m entre ellos y de una longitud cercana al límite máximo de 40 o 50 ms que se recomiendan en la práctica, con una inclinación entre 5º y 10º respecto a la horizontal.

El gran espesor del coluvión no permite llegar de forma óptima al nivel alterado (acuifero fisural) como hubiera sido deseable pues no hay garantía de mantener la dirección de la varilla a esas longitudes (>50 mts.).

Esto hace que sea necesario combinar el efecto producido por el drenaje horizontal con una serie de pozos a manera de barrea y de profundidades entre 25 y 30 mts. (con la seguridad doble de cortar la zona de rotura y llegar a la zona del acuifero fisural) que garanticen el abatimiento suficiente del freático en la masa. La ejecución de este tipo de medidas necesitan un cierto grado de experiencia que contemple los posibles problemas posteriores a la colocación (obturación de drenes).

#### CONCLUSIONES

La realidad es que a pesar de las modificaciones de la geometría del talud, la ladera sigue moviéndose, por lo que urge de una vez adoptar las medidas de drenaje que desde un primer momento se propuso (superficial y subterráneo), medidas mucho más económicas y efectivas que las realizadas hasta el momento. Eliminar al máximo ese agua mejorará la resistencia del terreno y por tanto aumentará la estabilidad del talud. Para condiciones iniciales (topografía antigua) secas, los factores de seguridad resultantes en el análisis de estabilidad estaban por encima de 1.7. Para condiciones cercanas a la saturación como fue el origen de la inestabilidad este factor baja de 1.

La información suministrada por la geofísica ha sido bastante concluyente al aportar un mejor conocimiento de la geometría y de las características de los tipos de suelos involucrados en la masa inestable.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a IGT S.A. y a CONGEO su colaboración .

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ENADIMSA (1972). "Investigación geológica aplicada en la Cuenca Hullera Central Asturiana - Sector Aller". Tomo I: Estudio Geológico. Documento interno.
- FERNANDEZ, J.A. et al. (1992). "Análisis Hidrogeológico de las explotaciones subterráneas de Carbón en el Grupo de Aller de Hunosa". Jornadas sobre Tecnología del agua en la Minería. ITGE y otros. (MINER).
- HUNOSA (Abril 1991). "Informe sobre deslizamiento ladera de Boó". Grupo

Aller-Turón. Servicio de Geología. Dirección Técnica-Servicio de Mecánica de Rocas. (Inédito).

- HUNOSA (Mayo 1991). "Nota sobre los estudios de subsidencia minera realizados para los talleres próximos al Poblado de Boó". Grupo Aller-Turón. Servicio de Geología. (Inédito).
- HUNOSA, GRUPO ALLER-TURON (1992). "Nota sobre la evolución del deslizamiento de ladera de Boó y sus efectos en la vega". (27-3-92). Documento interno.
- ITGE, Area de Ingeniería Geoambiental (Julio 1991). "Informe previo sobre la estabilidad de ladera de Boó y justificación de la campaña de investigación geotécnica suplementaria y medidas de estabilización". (Inédito).
- LAGUNA, L.M., MULAS, J., GRAO, J.A. (1991). "Metodología de investigación geotécnica del deslizamiento de Boó (Asturias)". I Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera. Tomo II. 23 pag.
- PEINADOR, V.G., SAENZ DE SANTAMARIA, J.A., MARROQUIN, V.G. (1991). "Boo (Asturias). Subsidencia y deslizamiento". I Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera. Tomo II. 36 pag.

# Methodology of the expansive clays hazard preventive map of Spain, 1:1.000.000

Methodologie de la carte de risques dans les argilles expansives en Espagne a escale  
1:1.000.000

Carlos S. Oteo & José L. Salinas, *Laboratorio de Carreteras y Geotecnia, Madrid, Spain*

Mercedes Ferrer, *Instituto Geológico y Minero de España, Div. de Geología Aplicada, Madrid, Spain*

**ABSTRACT:** The increasing problematic that expansive clays represent in foundations and civil engineering works in Spain, has push to carry out a Expansive Clays Hazard Preventive Map of Spain (escale 1:1.000.000) to obtain a first orientation of the swelling potential of the clay formations. In this paper, a methodology for the realization of this map is presented, as well as the criteria used to represent the distribution and potential expansive hazard of clay formations. Especial emphasis is carried out in the correlation between the identification characteristics (mineralogy, moisture, granulometry, Atterberg's limits) and the swelling pression and Lambe potential volume change.

**RESUME:** La présence de terrains avec d'argile expansive a donné lieu à des problèmes importantes pour les travaux publics et les cimentations. C'est pour sa qu'on a besoin de réaliser une carte pour la prévision des risques associés à la présence d'argiles expansives. La finalité de ce travail c'est d'avoir une première approximation de l'expansivité potentielle des formations géologiques. Dans ce travail, nous présentons la méthodologie générale qu'on a suivi pour le réalisation de la carte d'Espagne 1:1.000.000. On présente, aussi, les critères les plus performants pour représenter la distribution des sols expansifs et de son potentiel de gonflement. Nous avons étudié spécialement la corrélation entre les caractéristiques de identification (minéralogie, granulométrie, humidité, limites d'Atterberg) et la pression de gonflement et le changement de volume potentiel de Lambe.

## 1. INTRODUCTION

The swelling capacity of clay soils is conditioned by a great number of variables. If this capacity depends on intrinsic soil characteristics (mineralogy, fabric, etc) the natural conditions in which these soils are and, more specifically, the modifications that will be introduced into their natural state (by the changes in the zone climate, p.e.), will determine wheter this capacity can develop or not. Therefore, these alternatives must be taken into account when the possibility to swell of the clay is analysed.

With a general purpose to the facility a first grade of information to the construction technicians, a scale 1:1.000.000 mape of the expansivite clay hazards in Spain has been developed. In their realization, two official organizations ("Instituto Geológico y Minero de España" I.G.M.E., and "Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas", CEDEX) had been colaborated. This work, described herein, is a first stage in a serie of regional studies on the theme.

The classification criteria of expansive hazard of clay formations in Spain tries to synthesize the relative importance of the different variables implied in the phenomenon. For the valuation of swelling capacity direct quantitative values obtained with the help of expansivity tests are take into account. These values are completed with other indirect values derived from the lithogeotechnical soil characteristics, grouped together by chronological formations and compared with climatic index. Finally, we come to areas of the same expansivity potential which are classified in four different groups and shown cartographically.

## 2. METHODOLOGY

Fig. 1 summarizes the criteria followed in order to classify the expansive clays in Spain. These criteria comprise some concurrent lines of action.

- Definition of chronolithological units (only refered to the clay formations).

- Regional definitions of the climate conditions, through the Thornthwaite index, based in the previous studies of Justo and Cuéllar (1972) and the modifications by Rodríguez Ortiz (1975).
- Recopilation of information on the laboratory test on clay strate, by a national pool refered to the main official and private enterprises.
- Sectorial examination of expansive test, which are checked with eventual problems derived from expansivity and assignment to the different chronological units.

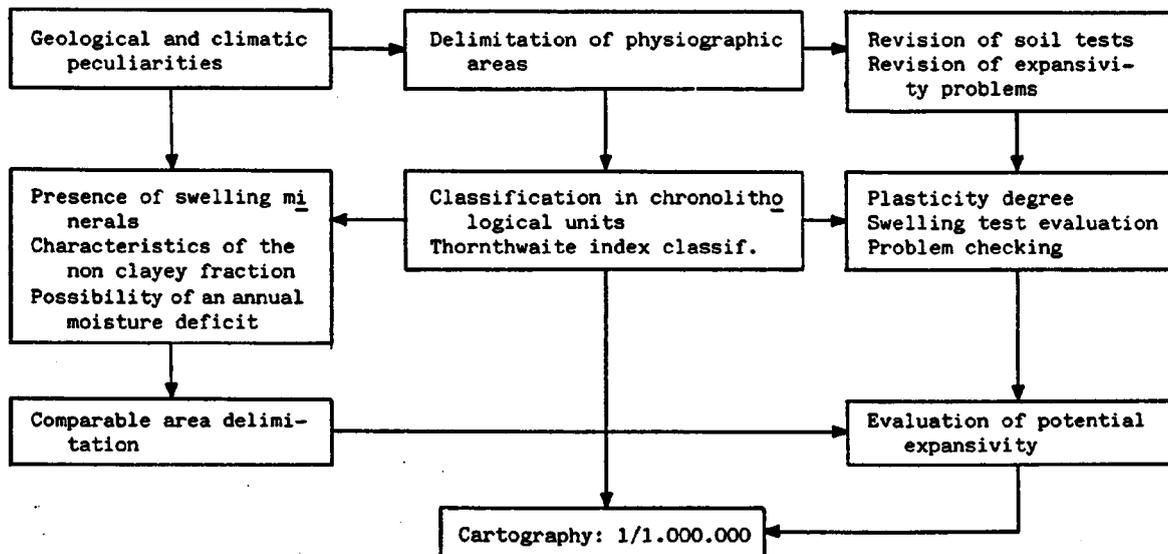


Fig. 1.- Methodology of the expansive clays hazard preventive map of Spain

The first proceeding guaranteed a soil classification of comparable mineralogical, textural and structural characteristics (equivalent facies and geological history). This implies a specific expansive capacity of the sedimentary formation that, globally, can be related to other similar formations near of the studied. This specific swelling potential was checked with the climatic index of the corresponding zone.

At the same time, the adscription to these chronolithological units of expansive tests, which were eventually completed with plasticity tests -the most abundant data- in order to obtain more information, made it possible to value the expansive alternatives inherent in the sedimentary formation and, consequently, to evaluate swelling potential. Table I summarizes the evaluation index -almost the climate index of Thornthwaite- used. In the reported field constructive problems due to a specific soil type and climate conditions, the formation was considered as a soil of high expansive characteristics.

TABLE I. Index for evaluation of the swelling capacity of soils

Degree of expansivity	Average Liquid Limit	Extreme Liquid Limit	P.V.C. Lambe test	Probable linear expansion (%)	Swell pressure (KN/m <sup>2</sup> )
Nulle to low	< 35	< 20/<50	< 2	< 1	< 25
Low to moderate	35 - 50	20-30/50-70	2 - 4	1 - 4	25 - 125
Moderate to high	50 - 65	30-40/70-90	4 - 6	4 - 10	125 - 300
High to very high	> 65	> 40/>90	> 6	> 10	> 300

Firstly, the correlation between plasticity and swelling of soils was established by analyzing the liquid limit and the Lambe swell index reached in each case. As it can be seen in figure 2, the superposition of plasticities for the same degree of expansion is very frequent. Nevertheless, its average and extreme values are increasing globally with swelling and therefore the references which appear in Table I are more frequent statistically.

The incidence of natural water content on the expansive capacity of soils was evaluated. For

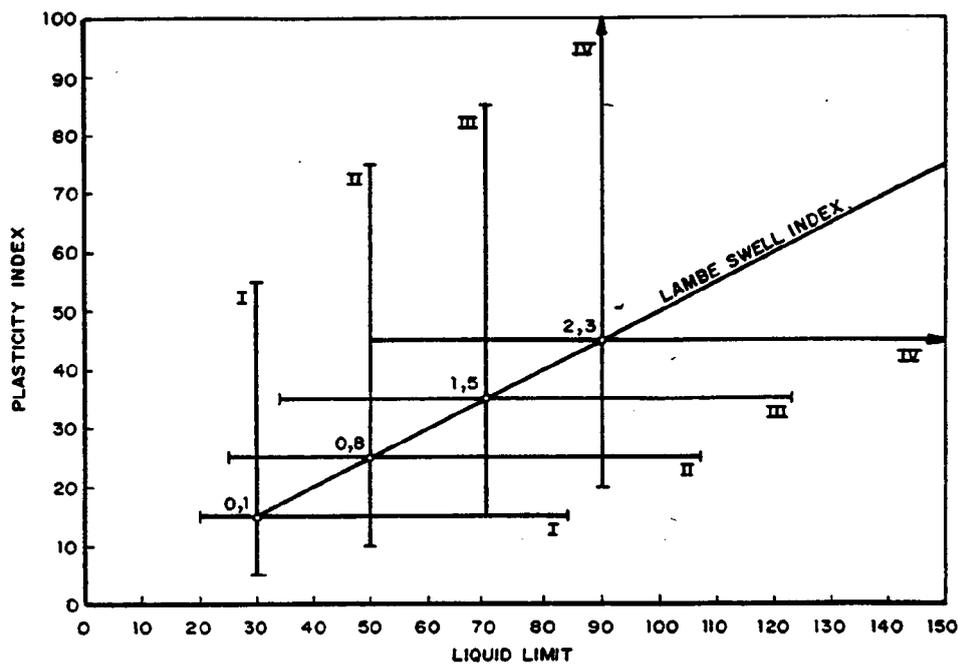


Fig. 2.- Plasticity distribution of the soils in Spain in relationship to characteristic Lambe Index

example, the preconsolidated miocene clay formation existing around of Madrid (city with swelling problems in the south zone) were classified in four different groups, obtaining the following data:

Average natural water content (%)	Probable expansion (change of volume, %)
22	<1
19	1 - 4
16	4 - 10
13	>10

The graphic of figure 3 was obtained by relating the values of liquid limit and the results obtained in the swelling pressure test and introducing the natural water content of the sample tested. Approximately 90% of the values of the moisture were comprised in the interval  $\pm 5\%$  of the indicated representative natural water contents.

With a collateral result, a swelling criteria for spanish soils has been developed by Oteo (1986). This criteria taken into account the relation of the natural water content and the liquid limit, the swell pressure and the free swell of the clays (similar to the Vijavergiya and Ghazzaly (1973) and Cuéllar (1978) criteria, but most representative of the expansivity hazard).

These criteria simplifies the subsequent integration of all the available data, not only those concerning the geological nature of the soils, but also those concerning the expansivity, avoiding as far as possible correlation errors to lithological formation which no geotechnical available data.

Finally, it should be pointed out that in order to facilitate a first data integration, it was considered useful to refer to areas with similar characteristics. For this reason the area under study was classified into zones of similar geological, morphological and climatic generalities (peculiarities which are similar to hydrographic basins). In total seven physiographic areas were classified, principally relationed with big river valleys, and different climates (humid, semi-arid, arid, etc).

Some of the before mentioned criteria are similar to those used for Patrick y Snethen (1976) for delimiting the expansive materials in the United States by physiographic areas.

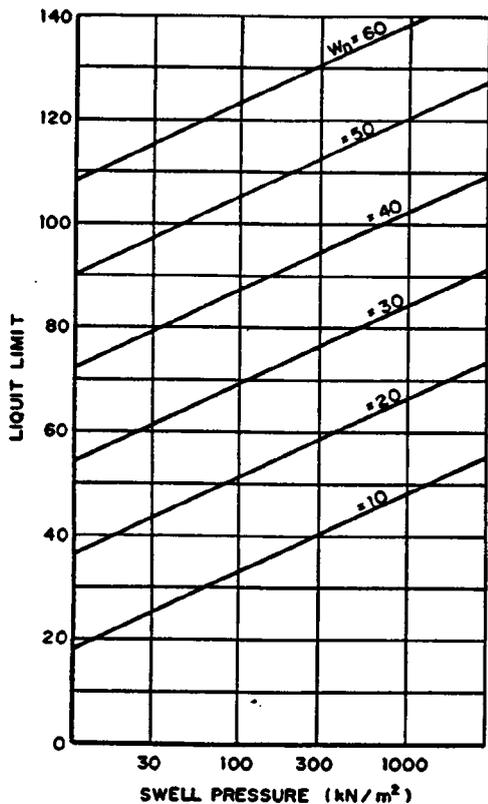


Fig. 3.- Correlationship between liquid limit and swell pressure related to the natural water content of clayey soils in Spain.

### 3. PROCEDURE CRITERIA

Since the degree of expansiveness is generally classified into four different classes by several authors (Lambe, 1960; Holtz, 1969; Rodríguez Ortiz, 1975, etc), it is logical that the evaluation of the hazard due to expansiveness should also be divided in four groups. In this way, and to a certain degree, the total expansive capacity of the same kind of soils, evaluated by means of tests, can be related to that of the original lithological formation.

The established degree of expansiveness were as follows:

- Grade I = Expansive potentiality of soil: from nulle to low
- Grade II = Expansive potentiality of soil: from low to moderate
- Grade III = Expansive potentiality of soil: from moderate to high
- Grade IV = Expansive potentiality of soil: from high to very high

The estimation of the degree of expansiveness of soils of the same origin was carried out upon the basis of the highest expansive capacity that has been registered, the frequency of occurrence and its alternatives.

Complimentarily, and due to the fact that this capacity is related with the soil characteristics, which are defined through the composition, texture and structure of the soil, the degree of expansiveness can be grouped for the same chronolithologic units.

The chronolithologic units have been established according to the geological age and to the lithology of clay formations, which are the following:

- Geological age:
- I. Neogene
  - II. Palaeogene
  - III. Mesozoic
  - IV. Paleozoic

- Lithology:
- a. Massive clays
  - b. Clays with silt and sand materials, occasionally gravels
  - c. Clays with carbonates
  - d. Clays with sulphates, with or without carbonates
  - e. Clays with sands and carbonates and/or sulphates
  - f. Sands, occasionally gravels, with subordinate silt and clay contents

Finally, in the case that the chronolithological formation was situated in a climatic zone with a seasonal deficit of humidity, its expansive potential could develop more easily than without this deficit. The expansive hazard should also consider the climatic alternatives. These alternatives have been classified by means -as we previously said- of the Thornthwaite Index, which decide whether a zone has a deficit in humidity from the climatological point of view.

The conjunction of all these criteria has led to the following classification of the expansive capacity of clay soils, according to the four categories which had been fixed before:

- I. Non-expansive clays or dispersed in a non-clayey matrix
- II. Low frequency of occurrence of swelling phenomena or clays located in climatic areas without an annual deficit of moisture
- III. Locally high frequency of occurrence of swelling phenomena or clays located in climatic areas with annual deficit of moisture
- IV. High frequency of occurrence of swelling phenomena or clays located in areas with problems related to expansiveness.

#### 4. DATA BASIS

- Two data basis has been developed: a) With geological criteria. b) With geotechnical criteria. The definition and mapping of the chronolithologic units on scale 1:1.000.000 (Geological Basis) was carried out starting from the following documents:
- Basic cartography of the National Map of Geological Synthesis on scale 1:200.000 of the I.G.M.E., by reduction to the 1:400.000 scale.
- Confrontation with the General Geotechnical Map on scale 1:200.000 of the I.G.M.E.
- Checking with the National Map of Industrial Rocks on scale 1:200.000 of the I.G.M.E., Geotechnical Maps of Urban and Regional Planning on scale 1:100.000 and 1:25.000 of the main Spanish city, carried out by I.G.M.E., the Lithological Map of Peninsular and Insular Spain on scale 1:500.000 of Macau et alia and the guide for elaborating physical medium studies (CEOTMA, 1984).

The data referring to mineralogy, texture and structure of clay soils have been obtained mostly from the information offered in the Memories of said maps. Accurate data from different sources have been also used. Some of them have been investigated specifically for this study.

In order to establish the Geotechnical Basis, several documents have been used:

- Memories of General Geotechnical Maps, Geotechnical Maps of Urban and Regional Planning of the I.G.M.E. (Scale 1:25.000 to 1:200.000)
- Previous Studies of several areas for the Construction of Highways and motorways, carried out by the Ministry of Public Works and Urbanism (MOPU), Sectorial geotechnical studies proceeding from specific geotechnical reports.
- Research works or referring to specific performances.
- Plasticity and expansivity tests resulting from reports made by public and private organizations, as well as other tests made for this study.
- The comparative revision and analysis of the conclusions contained in the research studies has enabled, on very with particular occasions the approach to expansivity problems linked to specific lithological zones and formations.

The degree of expansiveness of the different chronolithological units has been defined starting from about 1400 expansivity tests and from about 2000 plasticity tests. The distribution of the available tests was very variable. This dispersion is due to the constructive pressure in each

geographic surrounding but also to the ancient expansivity hazard that probably exists in the zone. For this reason the available number of tests was increased, principally, for the lithological formations with a high expansive character which was verified through experience.

### 5. SIGNIFICANCE OF THE CLASSIFICATION CARRIED OUT

The assignment of a degree of expansiveness to a certain lithological formation does not mean, logically, that this degree is also valid for all the clay materials existing in the formation. There are some alternatives because the geological materials are not usually continuous in space and time.

As an example of these alternatives, figure 4 presents the expansive capacity which was found for the miocene clay formations of the soil of Madrid. These soils have originated problems in building construction due to their expansivity. The graphics show the frequency, obtained in accumulated intervals of 10%, of the results that exceed the defined value. This representation has been made by relating the values obtained in the swell pressure and free swelling tests to the Lambe index.

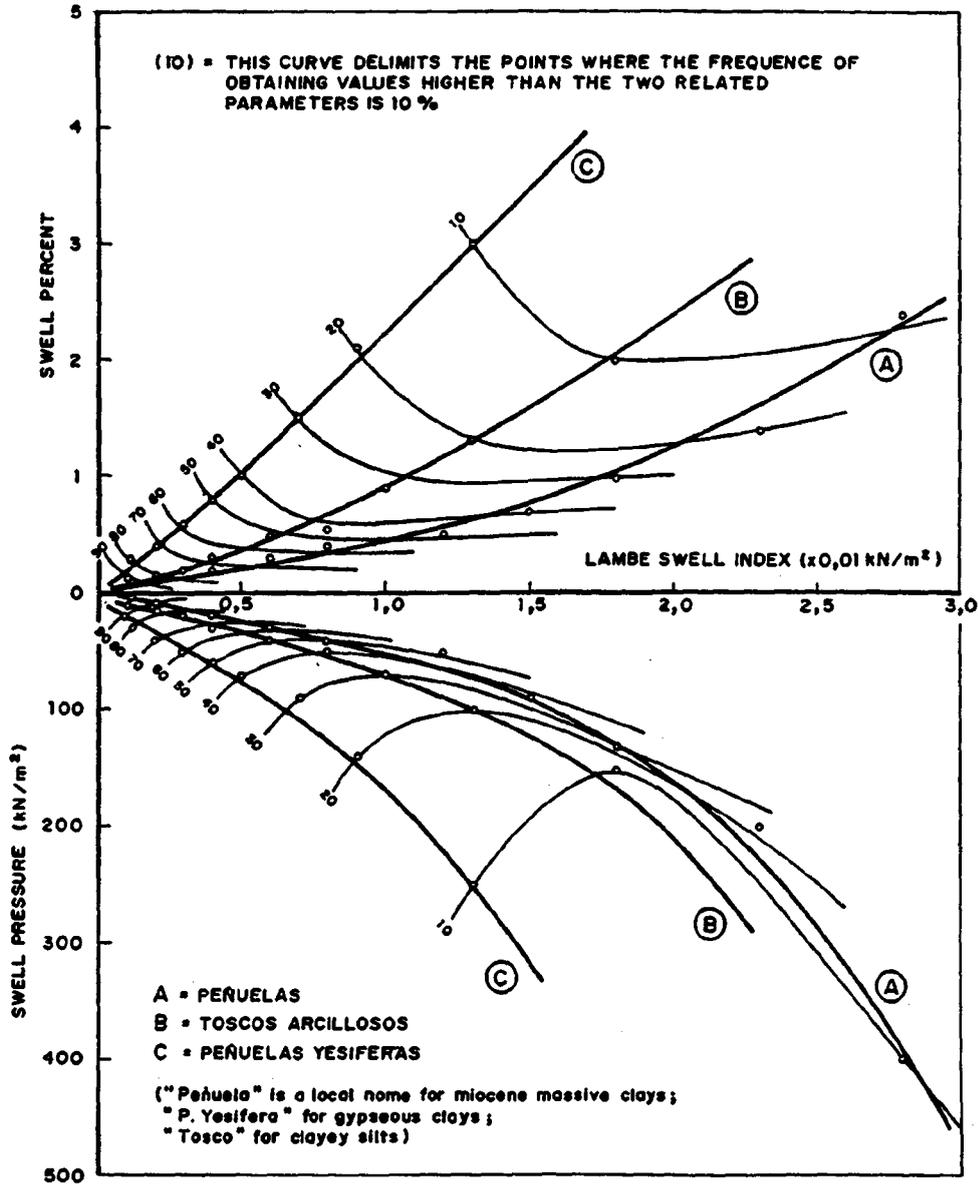


Fig. 4.- Expansivity tests results distribution into Madrid clayey soils

It ca  
fi d  
th t  
illing  
Nev  
to ex  
nic  
come  
In  
b'st  
l ng  
g-ha  
"maxi  
probi  
t c  
6. RE  
T :  
of ti  
I.  
" Li  
\_le  
- Mi  
- Cl  
\_Pe  
- Lo  
II  
-Li  
ap  
Mi  
-Pr  
- Hu  
Ma  
\_me  
I:  
L  
r  
- M  
M  
- S  
- M  
I  
is  
- V  
y  
I  
- I  
The  
ig  
of  
dis  
!  
se:  
-ii

It can be observed that the percentage of soils with a value of expansivity which can be classified as high or very high, is important, but very minority. For this reason is possible to say that into a formation considered ordinary "expansive" there is a important proportion of non-swelling materials.

Nevertheless, considering that the aim was to elaborate a map for the hazard prevention due to expansive clays, it was necessary to point out those lithological formations which had a significant proportion of that kind of clays and which, due to the climatic characteristics, could come into action.

In the final definition of the chronolithological units hazard degree a agreement was established between what could be denominated the "average hazard" and the "maximum hazard" of swelling of the formation, in order to avoid too high or little conservative valuations. The "average hazard" was adopted for expansive clay units subordinated in the formation, but the expression "maximum hazard" was accepted in those cases where these clays became predominant and, naturally, problems were reported due to expansive materials. At the same time this valuation inherent to the chronolithological units was checked with climatic factors.

## 6. RESULTS OF THE RESEARCH WORKS

The principal alternatives that characterizes the different degrees of potential expansiveness of the chronolithological units in Spain can be summarized as follows:

### I. Expansive potentiality of the soils from nulle to low:

- \* Lithological and/or climatic characteristics not linked to expansivity problems. Defining parameters:
  - Mineralogy with no or little montmorillonitic clay (chronological units IV and, partially, III).
  - Clays of disseminated texture (lithological units f and, partially, e).
  - Perhumid to subhumid climatology.
  - Low plasticities and expansivity tests with low or nulle values.

### II. Low to moderate expansive potentiality of the soils:

- \* Lithological and/or climatic characteristics where normally no expansivity problems should appear. Defining parameters:
  - Mineralogy containing some montmorillonitic clay (chronological units III and, partially, II).
  - Principally disseminated clays (lithological units e and, partially, b).
  - Humid-subhumid climatology.
  - Maxima plasticities of medium type and expansivity tests with maximum values within the intermediate category.

### III. Moderate to high expansive potentiality of the soils:

- \* Lithological and climatic characteristics which can produce expansivity problems, but no referenced. Defining parameters:
  - Mineralogy principally montmorillonitic (chronological units I and, partically, II).
  - Massive clays (lithological units c and d).
  - Subhumid-arid climatology.
  - Maxima plasticities of high type and expansivity tests with high maximum values.

IV. High to very high expansive potentiality of the soils: Lithological and climatic characteristics determining expansivity problems. Defining parameters:

- Mineralogy principally montmorillonitic (chronological units I).
- Massive clays with a high content in montmorillonite (lithological units a, c and d).
- Dry-semiarid climatology.
- Plasticities which can be very high and expansivity tests with high values.

The conjunction of these alternatives was specified in a Hazard Preventive Map on scale 1:1000.000. Figure 5 presents a synthesis of this map. For the explicitum formate of this paper, the scale of this figure is, aproximatelly, 1:5.000.000. In the reduction great number of details had been disappeared.

Finally, it must be pointed out that the expansive hazard of clayed substrata in Spain increases, in general, in the Central-South of the country due to the lack of humidity and to clayed lithotypes which are geologically recent and in many cases very montmorillonitical.

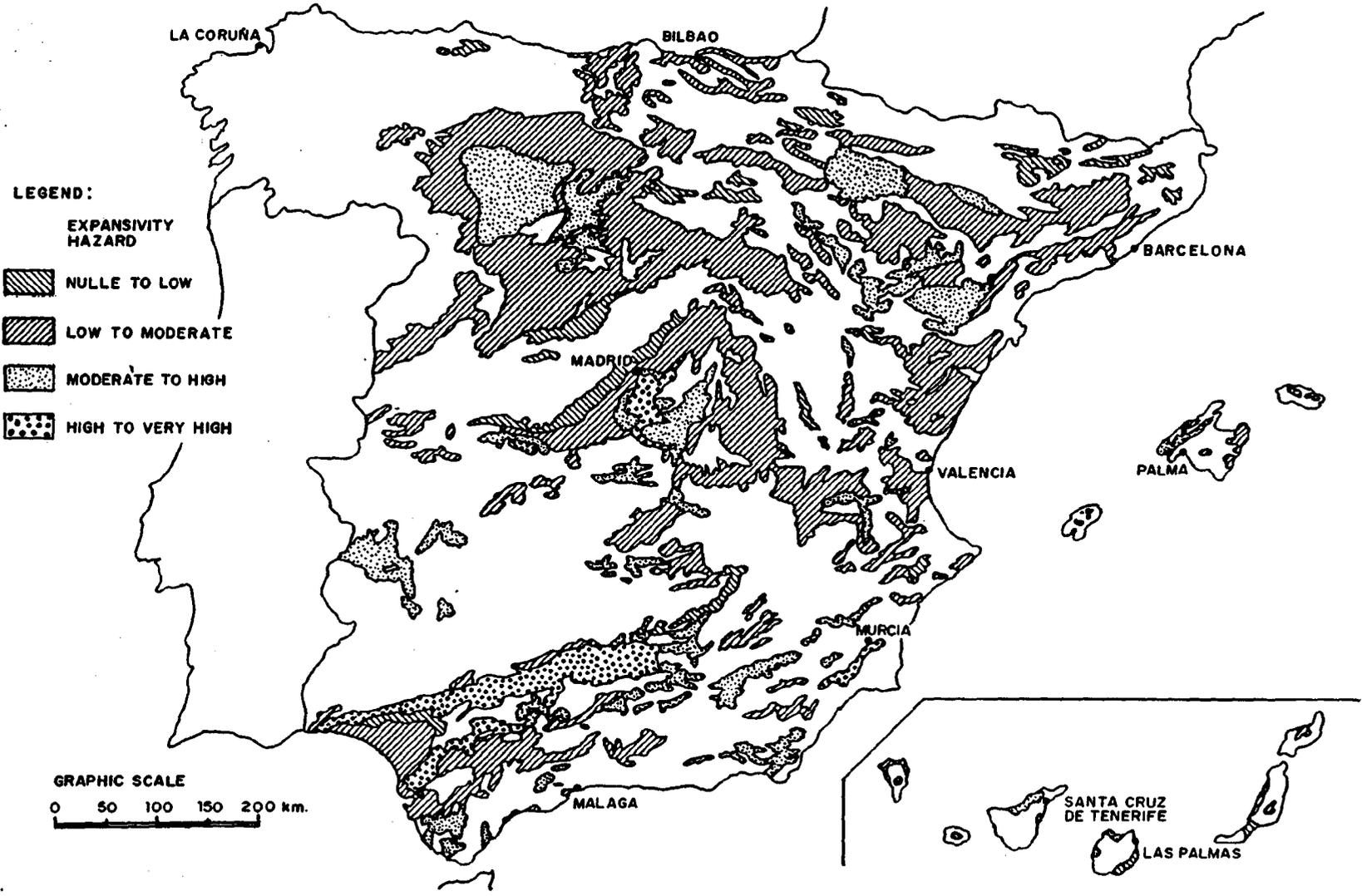


Fig. 5.- Simplified version of the expansivity hazard preventive map of Spain

The a  
 ti at  
 7 30  
 The r  
 - In  
 ee  
 - an  
 cal  
 es  
 - Le  
 - Fir  
 ob.  
 B. A.  
 1 2  
 v k  
 to F  
 labo  
 Sr R  
 r ot  
 i nu  
 CUEL  
 vas  
 I I  
 Mine  
 7 i  
 This  
 Mem  
 89.  
 am  
 is  
 Mac  
 I. C  
 in  
 ote  
 clic  
 at n

The approximately distribution of hazards due to expansivity of clayey substrata (35% of national territory), expressed as percentage of the clayey spanish territorial surface, is as follows:

Expansivity hazard	Surface distribution (%) (clayey substrata)
Nulle to low	7.4
Low to moderate	64.2
Moderate to high	21.3
High to very high	7.1

## 7. CONCLUSIONS

The main conclusions obtained in this works can be summarized as follows.

- In the mapping of the natural and artificial risk hazard a previously defined methodology has been necessary.
- In the expansive clays case is necessary taken into account, as a minimum, the chronolithological characteristics of each formation, one climatic Index and the available laboratory swelling test results.
- Also, the general data on natural water content has been taken into account.
- Finally, four grades of expansivity hazard has defined and a Map, scale 1:1.000.000, has been obtained, for general and primary classification use.

## 8. ADCKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their profunde gratitude a all peoples who had been colaborate in this work, with local data, with their commentaries, etc. Specially to the I.G.M.E. (with reference to Francisco Ayala, Min. Eng.) and CEDEX for the support and J. Plaza e I. Ferrero for their collaboration in the treatment of the data.

## 9. REFERENCES

- Ceotma. 1984. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. Manuales, 3, 372 pág.
- Cuéllar, V. 1978. Análisis crítico de los métodos existentes para el empleo de arcillas expansivas en obras de carreteras y recomendaciones sobre las técnicas más idóneas para su uso habitual en España. Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, 303 págs.
- Holtz, W.G. 1969. Expansive Clays Properties and Problems. Quaterly of the Colorado School of Mines. Vol. 54, nº 4, pp. 89-153.
- Instituto Geológico y Minero de España. Mapa Nacional de Síntesis Geológica. Escala 1:200.000. 87 Hojas y Memorias.
- Instituto Geológico y Minero de Sapaña. Mapa Nacional Geotécnico. Escala 1:200.000. 93 Hojas y Memorias.
- Justo, J.L. y Cuéllar, V. 1972. Humedad de equilibrio en el terreno. Mapa de España del índice de Thornthwaite. Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, nº 89, pp. 3-23.
- Lambe, T.W. 1960. The Character and the Identification of Expansive Soils. Federal Housing Administration Report. FHA-701, Washington, D.C.
- Macau, F. y Colab. 1970. Mapa litológico de España Peninsular e Insular. I.N.E., S.G.O.P. y I.G.M.E., Madrid, cartografía 1:500.000 y Memoria. 5 págs.
- Ministerio de Obras Públicas. 1967-1975. Estudio previo de terrenos. Varios volúmenes.
- Oteo, C. 1986. Las arcillas expansivas en España: Distribución y propiedades. Curso sobre Cimentaciones en Terrenos metaestables. Instituto Agustín de Bethencourt. Madrid.
- Patrick, D.M. y Snethen, D.R. 1976. An occurrence and distribution survey of expansive materials in the United States by physiographic areas. F.H.A., report nº FHWA-RO-76-82, 73 págs.

Rodríguez Ortiz, J.M. 1975. Las arcillas expansivas: su estudio y tratamiento. Boletín de Información del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. nº 108, pp. 3-30.

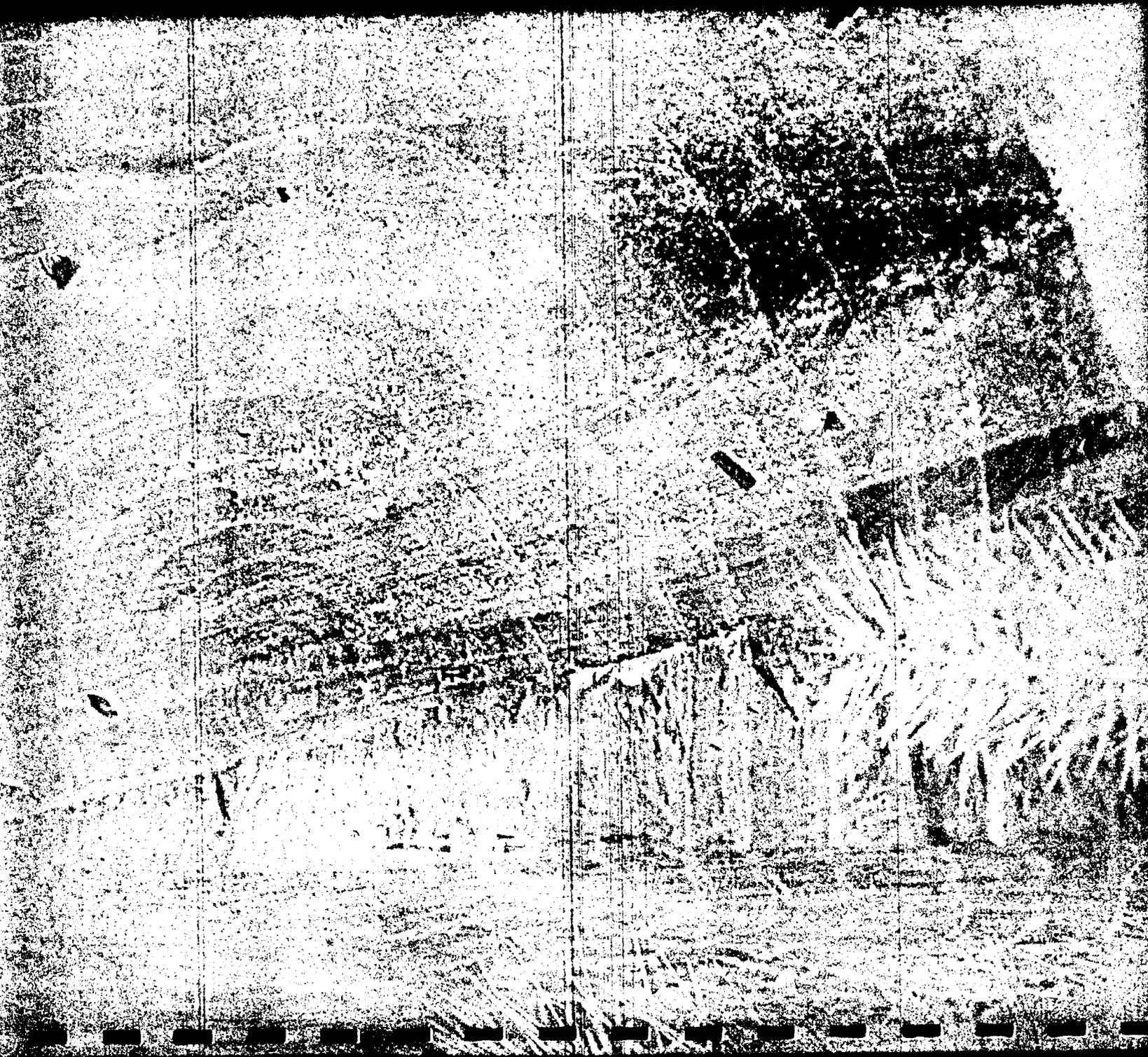
Vijayvergiya, V.N. y Ghazzaly, O.J. 1973. Prediction of Swelling Potential for Natural Clays. Proc. of the 3rd. Int. Conf. on Expansive Soils, Haifa, Vol. 2, pp. 227-236.

# tecnología ambiental

REVISTA DE INGENIERÍA DE TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y AMBIENTAL

76012003

1002



# Problemática ambiental de la minería de áridos naturales

---

**Lucas Vadillo Fernández**  
**Daniel Baretino Fraile**  
Ingenieros de Minas  
Area de Ingeniería GeoAmbiental  
Instituto Tecnológico GeoMinero de España

---

Los recursos de áridos naturales que parecían ser ilimitados, cada vez encuentran mayores dificultades para su extracción y aprovechamiento debido, principalmente, a factores medioambientales y a la falta de previsión en los planes de ordenación de municipios, provincias y Comunidades Autónomas, donde los terrenos que constituyen yacimientos de estos recursos son calificados, en numerosas ocasiones, como suelo urbanizable, en lugar de ser considerados como materia prima mineral. Por otra parte, es un recurso que depende en gran medida de los costes de transporte, lo que da lugar a que las extracciones se concentren en el entorno de las grandes ciudades, donde la demanda y necesidad de suelo urbanizable es cada vez más importante. Estas limitaciones tienen como consecuencia que, en algunos países, se plantee

la posibilidad de extracción de áridos de la plataforma marina, como es el caso de la ciudad de Los Angeles (USA) o de ciertas áreas de Gran Bretaña y Japón, donde las distancias entre la costa y las ciudades y la existencia de ríos navegables permiten contemplar esta posibilidad.

Las limitaciones anteriormente comentadas apuntan a que en un futuro muy próximo (2010-2020) puede haber escasez de este tipo de recursos en algunas zonas

de máxima demanda, como es el caso de Madrid donde los áridos son de alta calidad (áridos silíceos).

Los yacimientos de áridos naturales se encuentran generalmente asociados a los sistemas fluviales actuales.

Entre los problemas medioambientales que presenta su explotación minera cabe destacar la modificación de habitats, con ecosistemas de alta diversidad faunística, como son los bosquetes de ripisilva -ribera, soto y vega viva-



*Laguna procedente de extracción de áridos.*

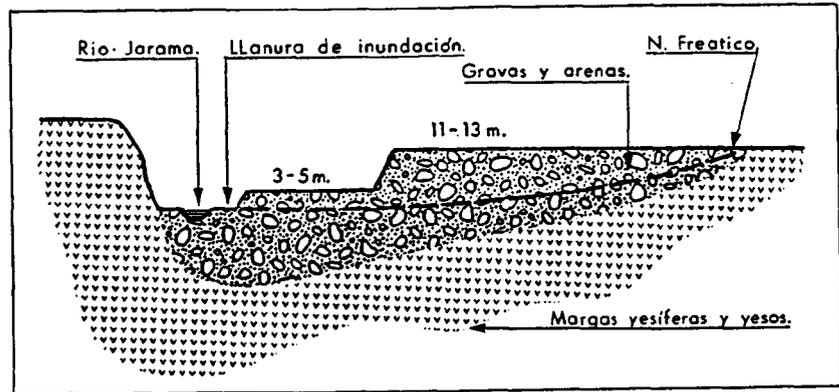
o las dehesas en la vega fósil o terrazas superiores. En otros casos, la extracción de estos recursos choca con los usos tradicionales del suelo, como pueden ser los de tipo silvo-cultural o agrícola, aunque este último uso, como veremos más tarde, puede ser compatible con el aprovechamiento industrial de los áridos. Otro problema ambiental que puede presentarse es la alteración de los acuíferos superficiales, que son aprovechados para regadío de pequeñas huertas o para usos no industriales.

En el primer caso, la extracción, además de alterar el hábitat de una avifauna ligada a zonas encharcadas remansos, lagunas, zonas palustres- degradada lugares con alto valor paisajístico y recreativo muy difíciles de recuperar, que se localizan en la llanura aluvial o terrazas bajas.

En el caso de que la explotación se sitúe sobre la llanura aluvial actual del río se pueden generar, además, importantes alteraciones en la dinámica fluvial natural, modificando los procesos erosivos y sedimentarios en el tramo de cauce directamente próximo a la extracción, así como aguas arriba y aguas abajo del mismo. También pueden alterarse las zonas inundables del río, introduciendo un riesgo por inundación en algunas zonas, tanto aguas arriba como aguas abajo, exentas de este riesgo antes de la explotación. El caso extremo, en cuanto a impactos ambientales in-

ducidos, es la extracción de áridos naturales del propio cauce, que además de todas las alteraciones presentadas hasta ahora, genera un impacto crítico e irreversi-

ble creada puede tener considerable magnitud, provocando como consecuencia la depresión del acuífero, afectando a las captaciones que lo explotan.



Terraza compleja en el curso del río Jarama.

ble sobre el ecosistema fluvial, al hacer desaparecer la vegetación ripícola y, por consiguiente, la fauna asociada de la que es soporte.

La extracción de áridos por debajo del nivel freático genera, en todos los casos, un importante impacto ambiental residual, al crear una laguna artificial. Este hecho tiene como consecuencia la pérdida de suelo en el territorio, generando en el mismo unas áreas a las que únicamente se les puede dar uso recreativo y, en algunos casos, de reserva de aves acuáticas.

En los climas áridos y semiáridos, como es el caso de gran parte del territorio español, la evaporación de agua desde la lámina

En aquellos casos en que la laguna esté situada dentro de la llanura aluvial, donde existe una íntima relación entre el nivel del agua y el caudal del río, se pueden generar procesos de eutrofización. Este fenómeno se manifiesta con grandes explosiones de algas microscópicas o macroscópicas, que no dejan pasar la luz solar a partir de los treinta centímetros de profundidad. Esta explosión se debe al contenido de nitratos y fosfatos que lleva el agua del río, provenientes de abonos agrícolas y detergentes. En su máximo estrés aparecen algas cianofíceas que pueden ser tóxicas para ciertos animales o producir erupciones en la piel del hombre.

A los efectos negativos anteriormente citados, inducidos por el abandono de graveras con generación de lagunas artificiales, habría que añadir otros impactos producidos por la utilización de estas lagunas como zonas de vertido descontrolado de todo tipo de residuos sólidos y líquidos, desde urbanos hasta tóxicos y peligrosos. Entre estos impactos ambientales



Reserva de aves acuáticas en una laguna artificial.

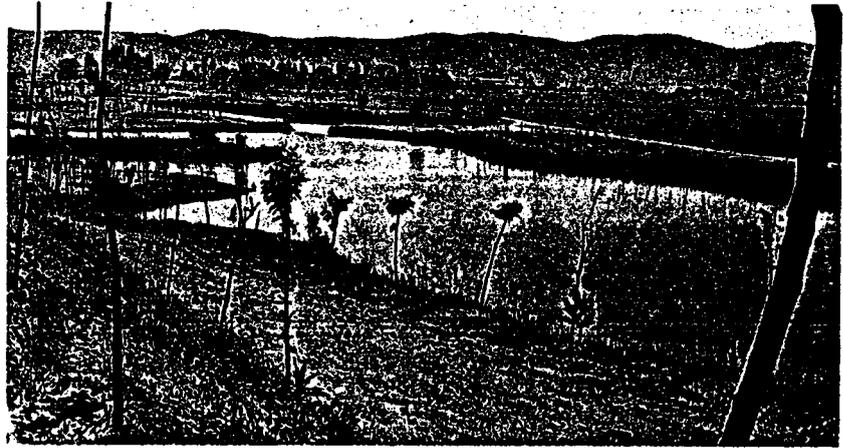
destaca la posible contaminación del acuífero. Si bien estos impactos no están directamente relacionados con la actividad minera, su existencia es un hecho constatable en la mayoría de las áreas donde ha habido extracción de áridos naturales.

Excepto en estos casos, la extracción de grava y arena puede y debe ser compatible con otros usos del suelo, entre ellos, el agrícola, ya que las alteraciones que se producen son temporales y nunca alcanzan una magnitud de tal importancia que no permita su recuperación. El diseño de la explotación coordinada con el Plan de Restauración, mediante un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental previo, permite su recuperación, a veces con mejora de las condiciones iniciales del suelo, como por ejemplo la capacidad de retención del agua, al extraer materiales muy porosos.

La restauración, de hecho, no ofrece problemas logísticos, contando con años de experiencia en países como Gran Bretaña y Francia. Las operaciones y trabajos de restauración posibilitan la retirada del suelo, el mantenimiento de sus elementos nutritivos y su posterior reinstalación en mejores condiciones que las originales.

producido en la planta de tratamiento, tienen corrección sencilla. El regado de pistas, el carenado de cintas y la regulación de la distancia de caída desde cintas en los acopios minimiza la emisión de polvo. El carenado de la planta de tratamiento minimiza el nivel de ruido emitido.

bajo, y facilitar la revegetación, los taludes finales de restauración se conforman con un ángulo no superior a  $18^\circ$ , reinstalando el suelo vegetal sobre los mismos y creando una superficie vegetal de herbáceas mediante la siembra de gramíneas y leguminosas. El resto de superficie plana se puede recu-



*Laguna artificial en fase de recuperación ambiental.*

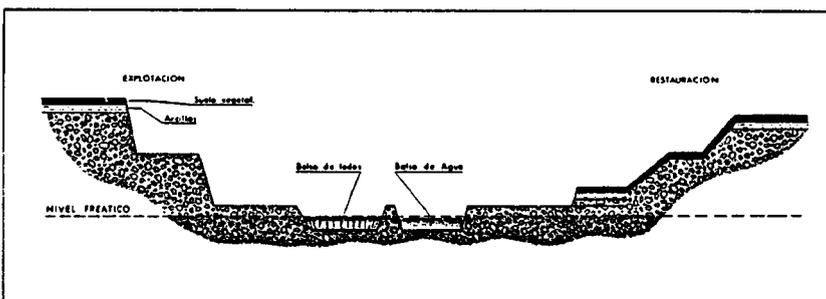
Siempre que la explotación no se sitúe sobre la llanura de inundación no existen riesgos inducidos, al no haber estructuras mineras permanentes (escombrecas) en este tipo de extracciones.

Únicamente permanecerá un impacto residual al abandono

perar, tras la reinstalación del suelo, para su uso vocacional, que en la mayoría de las ocasiones es agrícola.

Las operaciones y trabajos de restauración deben comenzarse cuanto antes, de manera que en el mínimo tiempo posible se llegue a una explotación-restauración simultánea. Este objetivo se consigue mediante la explotación por cuarteles con una extensión igual a la superficie mínima necesaria requerida para el movimiento de maquinaria, de manera que al empezar a explotar el segundo cuartel, se puede comenzar la restauración simultánea del primero. Si la gravera funciona adecuadamente, estos cuarteles no deben estar más de un año sin restaurar tras su explotación.

En el caso que se decida extraer por debajo del nivel freático, si la explotación se encuentra en una terraza del río en la que el gradiente hidráulico es descendente y perpendicular al río, y por lo tanto los contaminantes del río no alcanzan a la terraza, se creará una laguna oligotrófica. En este caso se le puede dar un uso futuro recreacional (deportivo, pesca), o de re-

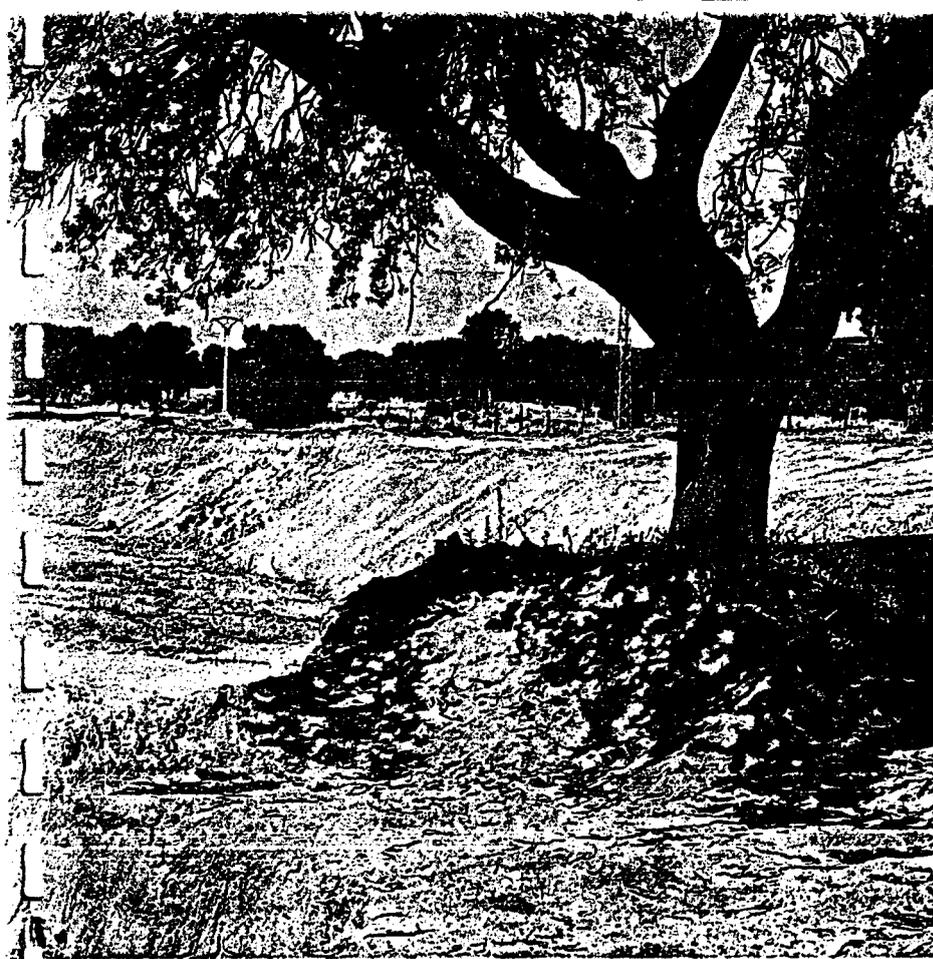


*Perfil de explotación-restauración de una gravera.*

El impacto sobre las aguas superficiales, generado por el vertido al cauce desde la planta de clasificación, se corrige fácilmente mediante el empleo en ésta del agua en circuito cerrado. Otros impactos ambientales temporales, como son la emisión de polvo en pistas, cintas y acopios y el ruido

de la explotación, generado por la creación de una depresión topográfica en el área de extracción, debido a la casi nula existencia de estériles para el relleno en este tipo de minería.

Con el fin de evitar la erosión de las superficies verticales o subverticales de los taludes de tra-



*Conflicto entre usos: industrial y silvo-cultural.*

serva de avifauna, o ambos simultáneamente si la lámina de agua es suficientemente extensa. Para dar a la laguna creada un uso de reserva de aves acuáticas se deben diseñar perímetros irregulares, con taludes muy suaves para el acceso de anátidas, playas con los lodos de las balsas de decantación para las aves

limnícolas, taludes verticales en arcillas y arenas para que aniden abejarucos, islas interiores para anidamiento de aves, y la creación de todo un ecosistema de plantas hidrofíticas y arbolado de alto porte que impida, en la medida posible, la entrada de la radiación solar para evitar la creación de algas.



*Rehabilitación de una gravera para aprovechamiento maderero.*

El otro motivo que incide en la falta de reservas de áridos se debe a la ausencia de comunicación entre los Organismos de Ordenación y Política Territorial y las Instituciones que deben gestionar los recursos naturales renovables y no renovables. En numerosas ocasiones se hipoteca la extracción de los áridos naturales al ser calificado el suelo soporte de los mismos como urbanizable; por otra parte, estos suelos presentan frecuentemente problemas geotécnicos, debido a la oscilación vertical del nivel freático.

Por lo tanto, es necesario conseguir la coordinación entre los diversos Organismos e Instituciones, con el objetivo de no hipotecar para el futuro estos recursos naturales, que, si bien para ciertas aplicaciones pueden ser sustituidos por áridos provenientes de machaqueo, cuando se requieren áridos de gran calidad (áridos silíceos) no se encuentran fácilmente productos alternativos.

Para solventar este problema, el camino más adecuado a seguir pasa por la realización de Planes de Ordenación de los Recursos Mineros, que deben apoyarse en un conocimiento intenso y detallado de los recursos, para lo cual se debe llegar a la caracterización geológica y tecnológica de los mismos.

Estos Planes no sólo deben tener como objetivo la ordenación del territorio soporte de los yacimientos naturales, sino que deben ordenar también la propia extracción de los áridos, de manera que se compatibilice la optimización del beneficio de los recursos mineros con la minimización de las alteraciones o impactos sobre el Medio Ambiente.

## EL KARST EN EL MACIZO HESPERICO.

- |               |                     |                 |       |
|---------------|---------------------|-----------------|-------|
| del Val, J.   | I.T.G.E.<br>Madrid. | Ríos Rosas, 23. | 28003 |
| Hernández, M. | I.T.G.E.<br>Madrid. | Ríos Rosas, 23. | 28003 |

### RESUMEN

Se exponen las principales características del karst en el Macizo Hespérico y se presentan cinco ejemplos: la Cueva del Rey Cíntolo, la Cueva del Aguila, la Cueva de Castañar de Ibor, el Karst de Cáceres y la Gruta de las Maravillas.

Palabras clave: Karst, Macizo Hespérico.

### ABSTRACT

The main characteristics of the Karst of the Iberian Massif are expounded and five examples are presented: the Rey Cíntolo cave, the Aguila cave, the Castañar de Ibor cave, the Cáceres Karst and the Maravillas cave.

Key words: Karst, Iberian Massif.

#### 1.- INTRODUCCION

El Macizo Hespérico o Macizo Ibérico ocupa la mayor parte de la mitad occidental de la Península Ibérica, estando constituido por rocas paleozoicas y precámbricas sometidas al ciclo hercínico. Estos materiales / paleozoicos y, en menor medida, precámbricos, quedan cubiertos hacia el Este por mesozoicos y terciarios pertenecientes a distintos dominios geológicos; dichos materiales están relacionados, aunque sin continuidad de afloramientos, con otros núcleos paleozoicos de la Península: los de la Cor

dillera Ibérica, más directamente y, de forma menos clara con los de las Cadenas Costeras Catalanas y los de la zona axial pirenaica (JULIVERT, / 1.983).

En el Macizo Ibérico, en función de sus características estructurales, estratigráficas, de metamorfismo, magmatismo y metalogenia se ha venido estableciendo una zonación transversal a la dirección de las estructuras: zonas cantábrica, astur-occidental leonesa, centro-ibérica, ossa-morena y surportuguesa.

En este trabajo no haremos referencia a la zona cantábrica, contemplada en el capítulo "Cordillera Cantábrica" ni a la zona surportuguesa, situada en su gran mayoría dentro del territorio portugués.

## 2.- EL KARST EN EL MACIZO HESPERICO

A pesar de la amplitud de este dominio, las rocas carbonatadas aflorantes en el Macizo Hespérico, hecha la exclusión de la zona cantábrica, se presentan en escasa extensión. A lo largo del registro estratigráfico, aparecen intercalaciones carbonatadas, más o menos recristalizadas y dolomitizadas, en el Precámbrico de algunos sectores de la zona centro-ibérica y de la zona de ossa-morena, muy discontinuos. En el Cámbrico, existe una formación carbonatada que se extiende por todo el Macizo Ibérico (a excepción de la zona surportuguesa), mientras que en el Ordovícico y Silúrico prácticamente no tienen representación los materiales carbonatados. Los carbonatos del Devónico aparecen casi exclusivamente en la zona cantábrica, de forma similar que en el Carbonífero, si bien también aparecen algunos niveles calcáreos de este período en las zonas centro-ibérica y ossa-morena (JULIVERT, op.cit.).

De una forma general, la karstificación en las zonas del Macizo Hespérico consideradas presenta las siguientes características y condicionantes: los niveles calcáreos se presentan, en conjunto, con escasa extensión



Figura 1. División en zonas del Macizo Hespérico (en negro, zonas cantábrica y surportuguesa) con la situación de los cinco karsts analizados. 1: Cueva del Rey Cintolo. 2: Cueva del Aguila. 3: Cueva de Castañar de Ibor. 4: Karst de Cáceres. 5: Gruta de las Maravillas.

y potencia en comparación con otros dominios geológicos peninsulares y limitados frecuentemente a muro y techo por series impermeables; los karsts más importantes se desarrollan sobre calizas y dolomías normalmente muy / recristalizadas, formando a menudo pequeños sistemas kársticos aislados / sin conexión dentro de un gran conjunto por causas estructurales y estra-tigráficas; se trata normalmente de aparatos kársticos poco activos, inactivos o fósiles, apareciendo manifestaciones espeleológicas de gran interés, en las que muchas veces se llega a conservar una gran variedad de se-dimentos litoquímicos.

Los estudios regionales sobre el karst en el ámbito de este trabajo / son notablemente escasos y la mayoría de índole exclusivamente espeleoló-gica. No obstante recientemente se ha publicado un interesante modelo e-volutivo del paleokarst de Sierra Morena, perteneciente a la zona de ossa-morena (BAENA y DIAZ del OLMO, 1.988).

Los karsts descritos y su situación en el contexto del Macizo Hespé-rico aparecen en la fig.1. Con la caracterización de ellos y de algunas de sus problemáticas y aspectos de interés, se trata de proporcionar, a pesar de su especificidad areal, una visión de la variedad y diversidad del fenó-meno kárstico dentro del ámbito considerado. Otras manifestaciones kársti-cas de importancia aparecen en las calizas y dolomías cámbricas de la zo-na astur-occidental leonesa, en la Formación Vegadeo principalmente (Sie-rra del Caurel, Sierra Encina de Lastra, etc.), así como también en dis-tintas regiones de ossa-morena ligadas sobre todo a la formación carbonata da igualmente de edad cámbrica.

### 3.- EL KARST DE LA CUEVA DEL REY CINTOLO Y ZONAS ADYACENTES (fig.2.).

Se encuentra en la Sierra de Lorenzana, en su vertiente cantábrica, al Sur de la localidad de Mondoñedo (Lugo), sometido a un clima oceánico de / montaña con precipitaciones anuales superiores a los 1.500mm.

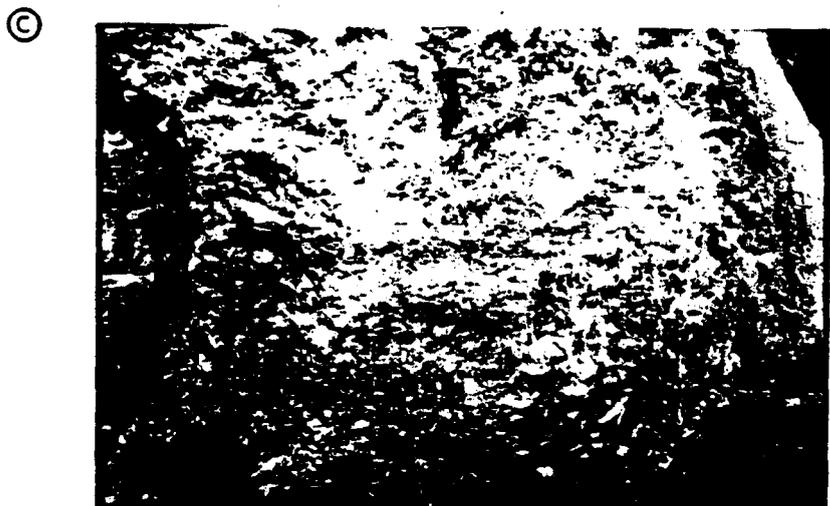
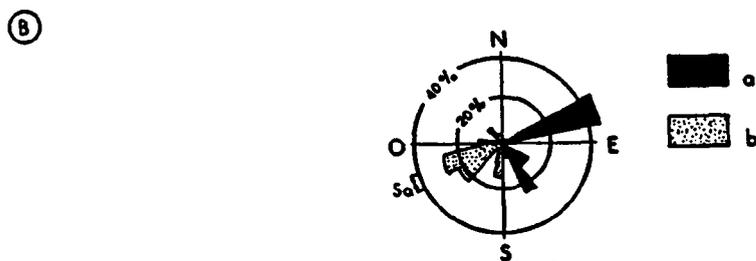
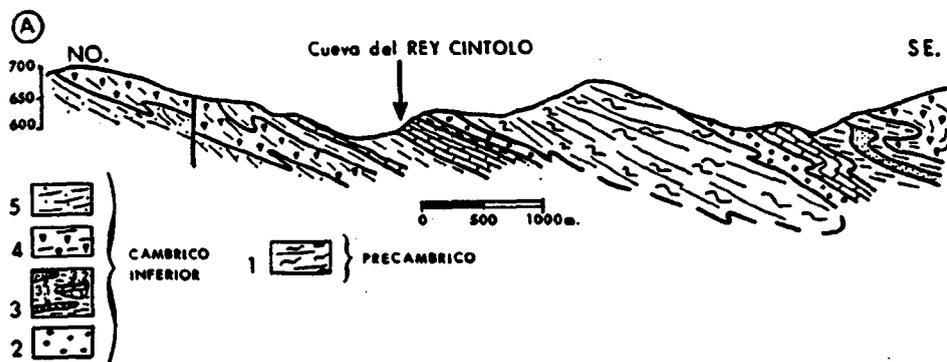


Figura 2. A: Corte geológico (ARCE et al., 1.978), con la situación de la / Cueva del Rey Cintolo; 1: serie cuarzo pelítica; 2: cuarcitas de Cándana inferior; 3: pizarras de Cándana; 3.1: cuarcitas; 3.2: lentejones calcáreos; / 4: cuarcitas de Cándana superior; 5: pizarras arcillosas y arenosas. B: Diagrama de orientación con intervalos angulares de  $20^{\circ}$ ; a: segmentos rectilíneos de la cavidad. b: discontinuidades medidas en campo,  $S_0$ : intervalo angular de la estratificación. C: fotografía de relleno de paleokarst en la / caliza de Vegadeo (cantera de Pousadas).

El karst se desarrolla sobre un potente lentejón calcáreo (de más de / 100m. de espesor), aunque de escasa continuidad, intercalado entre pizarras (Pizarras de Cándana, del Cámbrico inferior) (ARCE et al., 1.978), con un / buzamiento monoclinal de unos 35º al Sur.

La cavidad, de unos 6,5Km. de desarrollo longitudinal, presenta tres / pisos o niveles, con circulación de agua en el más profundo de ellos, ori- ginando una surgencia que alimenta directamente a uno de los arroyos afluen- te por la derecha del río Valiñadares. Por encima de esta surgencia apare- cen otras inactivas, con precipitación de travertinos.

En el entorno de la cavidad se encuentran varios aparatos kársticos / en otros lentejones calcáreos, igualmente intercalados en las Pizarras de Cándana, así como rellenos de paleokarst en distintos puntos de la caliza de Vegadeo.

#### 4.- LA CUEVA DEL AGUILA

Se encuentra en las estribaciones de la Sierra de Gredos, sobre la mar- gen derecha del río Tiétar, dentro del término municipal de Arenas de San Pe- dro (Avila).

La cavidad se desarrolla sobre calizas recristalizadas, atribuidas al Cámbrico inferior, si bien esta edad sólo puede considerarse como estimati- va (ODRIOZOLA et al., 1981), en un cerro aislado por la erosión.

La cueva, prácticamente inactiva sin sedimentos detríticos, presenta abundancia de sedimentación litoquímica, con varias generaciones de espeleo- temas (.¿3 ? ). Esta acondicionada para el turismo y fundamentalmente se / trata de una gran sala, cuya planta posee unas dimensiones próximas a los / 19.000m<sup>2</sup>.

El cerro no presenta morfología exokárstica, salvo pequeñas formas de corrosión en las calizas aflorantes, al igual que en otros existentes en la zona.

#### 5.- CUEVA DE CASTAÑAR DE IBOR (fig.3.)

Es una cavidad desarrollada en materiales carbonatados y pizarrosos de edad Precámbrica (NOZAL y PEREZ, 1.985), situados en el flanco oriental del gran anticlinal denominado Guadalupe-Ibor, en su zona de enlace con el flanco occidental del sinclinal de Guadarranque.

La cueva, con un desarrollo longitudinal de 2.134m. y 31m. de profundidad, fue descubierta recientemente (en 1.966) como consecuencia del hundimiento de las pizarras situadas a techo del nivel karstificable. Este hundimiento dio origen a la sima de acceso actual.

Las galerías, con direcciones predominantes NNO-SSE, coinciden con los ejes sinformes de pliegues menores vergentes al Oeste. Las salas han sido / originadas bien por colapso de las pizarras que constituyen el techo de la cavidad, bien por la intensa acción de procesos físico-químicos en el paquete carbonatado, quedando éstas limitadas a muro y techo por pizarras. Por / último, las zonas laberínticas que aparecen se dan donde las direcciones / principales de las galerías son intersectadas por la fracturación de dirección entre N20E y N40E, con menos representación.

La cavidad esta ligada a un paquete carbonatado que no supera en este sector los 2m. de espesor, distinguiéndose en su base intercalaciones centimétricas pizarrosas que aumentan hacia el sector oriental.

La gran belleza y abundancia de espeleotemas (que presentan tres generaciones muy marcadas y una fase última de degradación) han motivado estudios de viabilidad para su apertura al turismo (DIPUTACION PROVINCIAL DE / CACERES e IGME, 1.988), sumamente delicada dadas las características de la cueva y la extrema fragilidad de las concreciones carbonatadas.

#### 6.- EL KARST DE CACERES (fig.4.)

Se desarrolla en una estrecha banda de materiales carbonatados del Carbonífero inferior (TENA-DAVILA et al., 1.982), que se disponen dentro de /

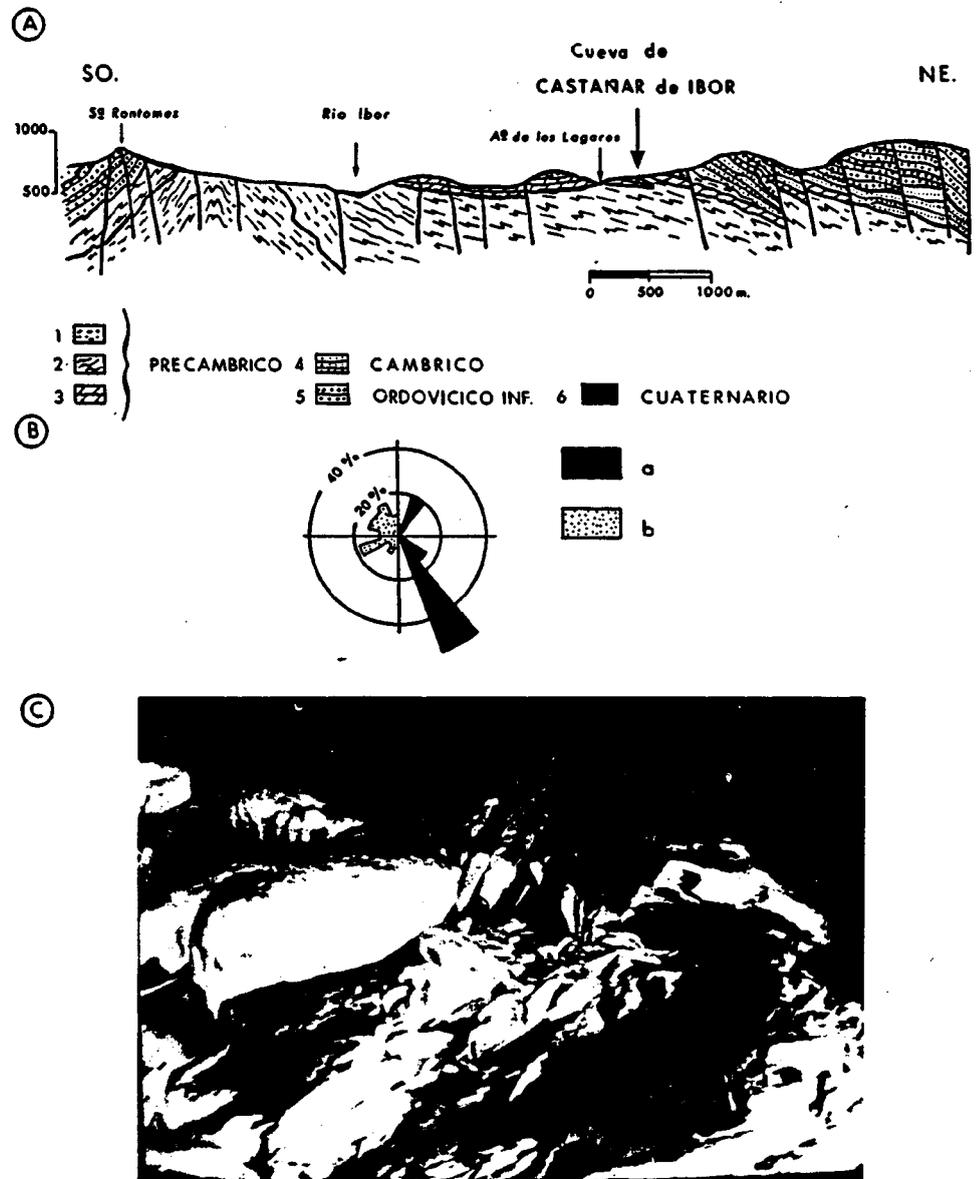


Figura 3. A: Corte geológico (basado en NOZAL y PEREZ, 1.985) con la situación de la Cueva de Castañar de Ibor; 1: pizarras y grauwacas masivas; 2: / limolitas y areniscas; 3: calizas, dolomías y calcoesquistos; 4: areniscas, cuarcitas y limolitas; 5: ortocuarcitas; 6: aluvial y derrubios de ladera. B: Diagrama de orientación con intervalos angulares de  $20^{\circ}$ ; a: segmentos / rectilíneos de la cavidad; b: discontinuidades medidas en el interior de la cavidad. C: Bloques de pizarra caídos en el interior de la cueva, recubiertos con precipitación de carbonatos (foto: F. Ramírez).

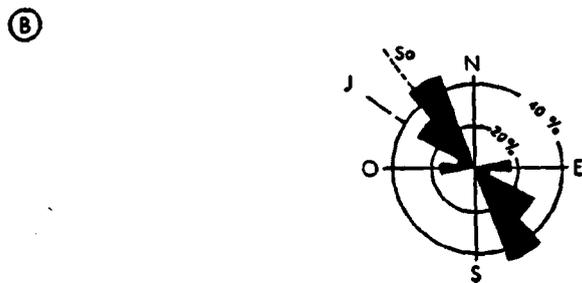


Figura 4. A: Corte geológico (TENA-DAVILA et al., 1.982), en el que se observa la geometría del sinclinal de Cáceres; 1: granito; 2: grauwacas, esquistos y pizarras; 3: cuarcita armoricana; 4: pizarras, cuarcitas y areniscas; 5: pizarras; 6: cuarcitas; 7: pizarras; 8: cuarcitas; 9: pizarras y areniscas; 10: cuarcitas, pizarras y areniscas; 11: pizarras y tuff volcánicos; 12: calizas; 13: derrubios de ladera. B: Diagrama de orientación, con intervalos angulares de 20°, de los segmentos rectilíneos de la Cueva de Maltravieso, S<sub>0</sub>= estratificación, J=dirección de familia de diaclasas más importante medida en campo. C: Relleno de lapiaz, en el barrio de Aldea Moret.

una estructura sinclinal con eje NO-SE, en cuyo núcleo aparecen pizarras, igualmente carboníferas. Las calizas quedan limitadas, hacia los bordes del sinclinal, por materiales impermeables o poco permeables (pizarras, areniscas y cuarcitas, principalmente).

Las calizas y dolomías marmóreas dan origen a un karst prácticamente / inactivo, con morfología exokárstica manifiesta sobre todo por un microlapiaz y un lapiaz cubierto por rellenos de "terra rossa". La manifestación / endokárstica más importante es la cueva de Maltravieso, de gran interés prehistórico (JORDA, 1.988).

Este sistema kárstico (también conocido como "El Calerizo") ha dado lugar, especialmente en el barrio de Aldea Moret, a numerosos y frecuentes / problemas geotécnicos, en gran parte por el efecto combinado de explotaciones mineras abandonadas (fosfatos y las propias calizas) realizadas en esta unidad carbonatada (IGME, 1.985).

#### 7.- GRUTA DE LAS MARAVILLAS (fig.5.)

Se desarrolla en mármoles de edad Precámbrica (APALATEGUI et al., / 1.984) con disposición homoclinal en torno a N120E y buzamiento de 40N, / con un espesor máximo de cerca de 200m. Este lentejón carbonatado da una forma positiva en la topografía, conformando el cerro donde se desarrolla / la cavidad, apareciendo intercalado entre un conjunto de gneises feldespáticos y en contacto con granitos. Hacia el NO, este conjunto es interrumpido por una fractura que les pone en contacto con metavulcanitas.

La cavidad, en pleno casco urbano de Aracena y acondicionada para el turismo, tiene un desarrollo longitudinal superior a los 1.200m., distinguiéndose de forma general dos niveles: las galerías altas y las de los lagos. Destaca por las grandes dimensiones de sus secciones, con alturas que superan los 30m. y por la presencia de numerosos lagos, que sufren variaciones estacionales de nivel. Los espeleotemas son abundantes y son otro de los

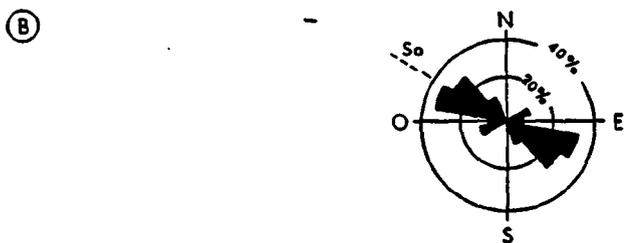
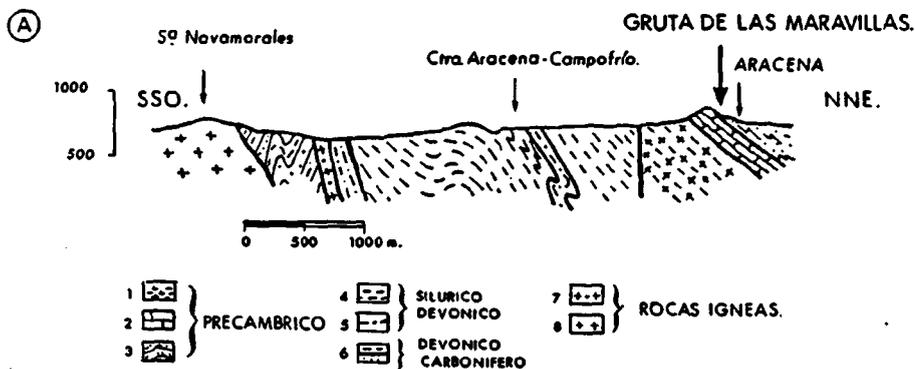


Figura 5. A: Corte geológico (basado en APALATEGUI et al., 1.979) con la situación de la Gruta de las Maravillas; 1: ortogneises; 2: mármoles; 3: gneises cuarzo-feldespáticos; 4: ortoanfibolitas; 5: esquistos con intercalaciones cuarcíticas; 6: esquistos y grauwacas; 7: granitos; 8: pórfidos graníticos. B: Diagrama de orientación con intervalos angulares de 20° de segmentos rectilíneos de la cavidad, S<sub>0</sub> dirección de la estratificación. C: Travertinos de Alájar (Peña de Arias Montano).

grandes atractivos de esta cueva.

En zonas adyacentes, ocupa una relativamente amplia extensión una unidad constituida por mármoles dolomíticos (Precámbrico-Cámbrico inferior), / que origina relieves abruptos en amplias áreas de Sierra Morena. Estos materiales presentan karstificación funcional y han dado origen, en sus surgencias, a travertinos de hasta decenas de metros de espesor. Estos travertinos, como el de la Peña de Arias Montano, en Alájar, han quedado colgados con respecto al nivel de disección fluvial actual y serían reflejo de un / sistema hidrogeológico kárstico más importante que el actual (DIAZ del OLMO y ALVAREZ, 1.987).

#### AGRADECIMIENTOS

A César Insua Ares, del Grupo Espeleológico Rei Cintolo, que amablemente nos mostró la Cueva del Rey Cintolo y la situación de otras próximas, / así como a Manuel Díaz, Presidente de la Federación Gallega de Espeleología. Igualmente, a José Higinio Diz y Luis Rojo, ambos del Espeleo-Club / Aradelas de Vigo. La mecanografía fue realizada por F. Camacho y la delimitación por F. Ramírez, ambos del ITGE.

#### BIBLIOGRAFIA

- \* APALATEGUI, O.; BARRANCO, E.; CONTRERAS, F.; DELGADO, M. y ROLDAN, F.J. / (1.984): Mapa geológico y memoria explicativa de la Hoja núm. 681 (14-27), / Aracena. IGME. Madrid.
- \* ARCE, J.M.; FERNANDEZ, J. y MONTESERIN, V. (1.978): Mapa geológico y memoria explicativa de la Hoja núm. 24 (8-4), Mondoñedo. IGME. Madrid.
- \* BAENA, R. y DIAZ del OLMO, F. (1.988): Paleokarst de Sierra Morena (Sector Cazalla-Constantina, Hespérico meridional): superficies de corrosión y poljes. Cuaternario y Geomorfología, 2 (1-4), 13-22.

\* DIAZ del OLMO, F. y ALVAREZ, G. (1.987): La Peña de Arias Montano: tuf ho-  
loceno en Sierra Morena (Alájar, Huelva). II Jorn. Patr. S<sup>a</sup> de Huelva, Dip.  
Prov..., 93-104.

\* DIPUTACION PROVINCIAL de CACERES e IGME (1.988): Estudio de viabilidad de  
apertura y explotación turística de la cueva de Castañar de Ibor (Cáceres).  
Excma. Diput. Provinc. de Cáceres e IGME. No publicado.

\* IGME (1.985): Informe sobre la estabilidad del terreno en el área de "El  
Calerizo" (Cáceres). I.G.M.E. No publicado. Madrid.

\* JORDA, J. (1.988): Rehabilitación de un paraje cárstico urbano: la Cueva  
de Maltravieso (Cáceres). Geogaceta, 5, 99-100.

\* JULIVERT, M. (1.983) (Coord.) : Los tiempos precámbricos y paleozoicos. El  
ciclo hercínico. In: Geología de España (Libro Jubilar J.M. Ríos), T.I. IGME,  
57-630. Madrid.

\* NOZAL, F. y PEREZ, A. (1.985): Mapa geológico y memoria explicativa de la  
Hoja núm. 681 (14-27), Castañar de Ibor. IGME. Madrid.

\* ODRIOZOLA, J.M.; PEON, A.; UGIDOS, J.M.; PEDRAZA, J. y FERNANDEZ, P. /  
(1.981): Mapa geológico y memoria explicativa de la Hoja núm. 578 (15-23),/  
Arenas de San Pedro. IGME. Madrid.

\* TENA-DAVILA, M. y CORRETGE, L.G. (1.982): Mapa geológico y memoria expli-  
cativa de la Hoja núm. 704 (11-28), Cáceres. IGME. Madrid.