

Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

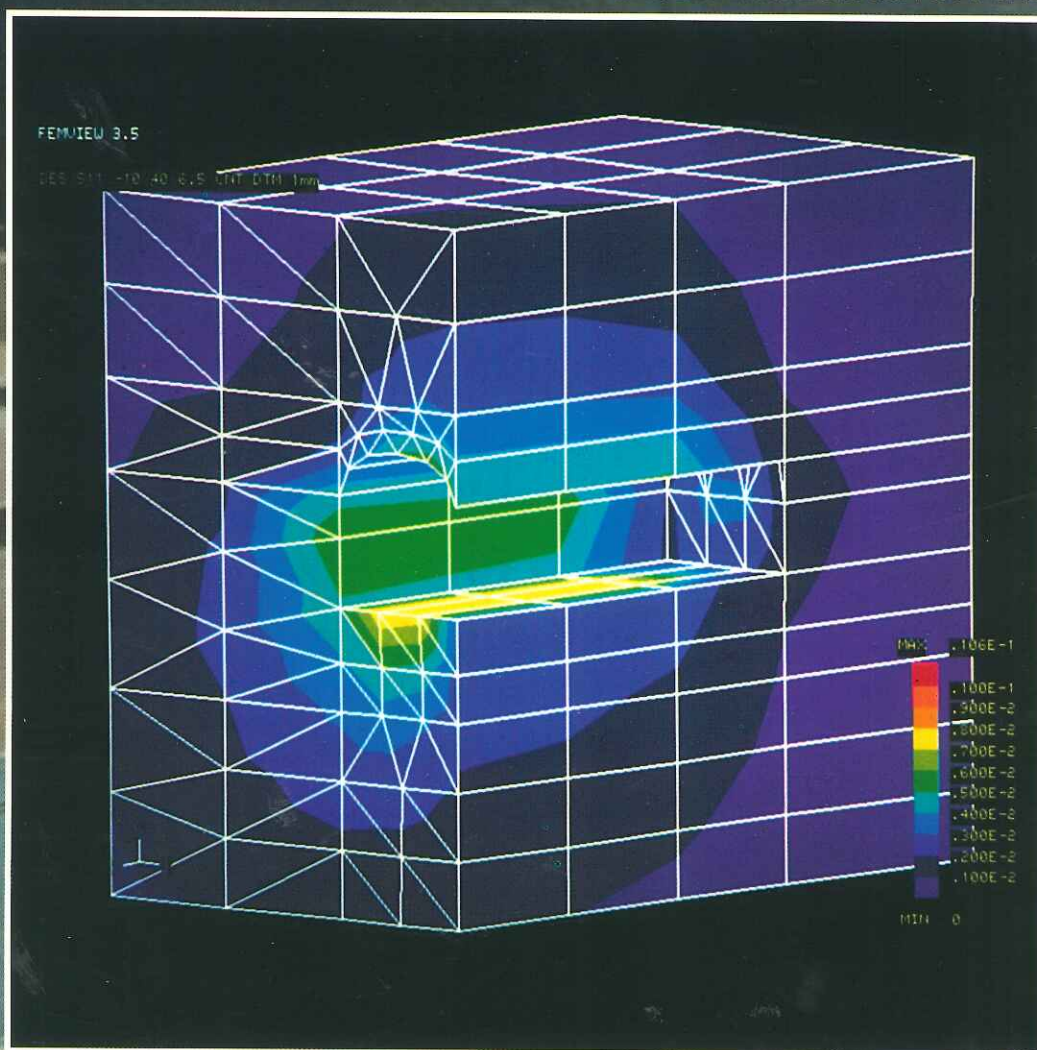
TERCER TRIMESTRE. 750 PTAS.

Situación actual
del sector
de los minerales
industriales en
España

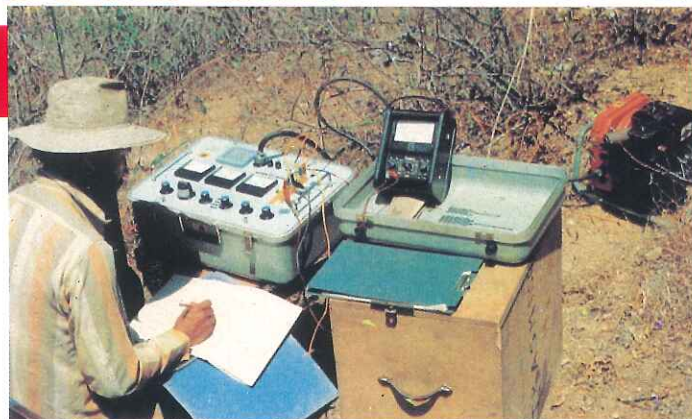
Geología aplicada
a la ingeniería e
ingeniería geológica

Campo de Dalías:
¿sobreexplotación o
desarrollo?

Panorámica de la
minería
en España a través
de la
investigación



NUMERO 5. 1993



e. n. adaro

e. n. adaro

e. n. adaro



TENEIO



Grupo INI

*** GEOLOGIA BASICA, EXPLORACION, PROSPECCION ***

*** INVESTIGACION E INGENIERIA MINERA ***

*** HIDROGEOLOGIA * SONDEOS * GEOTECNIA * MEDIO AMBIENTE ***

SERVICIOS

Geología
Geofísica
Geoquímica
Hidrogeología y Geotermia
Teledetección
Sondeos
Geotécnica y Geomecánica

Geomatemática
Cartografía Automática
Investigación de Yacimientos
Rocas y Minerales Industriales
Estudios Económico-Mineros
Ingeniería Minera
Seguridad Minera

Procesos Mineralúrgicos
Medio Ambiente Industrial y Minero
Residuos Sólidos Urbanos e Industriales
Laboratorios Químicos
Laboratorios Mineralógicos
Laboratorios de Medio Ambiente
Laboratorios de Carbones

EMPRESA NACIONAL ADARO, S.A.

Domicilio Social: Doctor Esquerdo, 138 - 28007 MADRID - Tel.: 552 99 00

Telefax: 433 59 16 - Télex: 42083-Geo E

Centro de Investigación "JUAN GAVALA": Carretera de Andalucía, Km. 12

Tel.: 681 60 14 (GETAFE-MADRID) Telefax: 681 19 13

INFORMACION CONFIDENCIAL

Nombre y apellidos _____ Fecha de nacimiento _____
Estado civil _____ Domicilio particular _____
Tfno. _____ C.P. _____ Población _____ NIF _____
Domicilio profesional _____ Tfno. _____
C.P. _____ Población _____
Horas de contacto _____ Lugar: Domicilio ☐
Oficina ☐
Es usted cliente del Popular SI ☐ NO ☐
Tiene usted Plan de Pensiones en otra entidad SI ☐ NO ☐

Rellene claramente sus datos. Pegue por la línea de puntos.

CONTRATACION AUTOMATICA

DOMICILIACION BANCARIA

Banco y Sucursal _____
Código Banco _____ Código Sucursal _____
N.º de cuenta _____ Titular _____

APORTACIONES

Importe _____ Pts. MENSUAL TRIMESTRAL SEMESTRAL ANUAL
Revalorización % _____ o IPC ☐ ☐ ☐ ☐

DATOS DE LOS BENEFICIARIOS

En caso de fallecimiento, serán beneficiarios:

Cónyuge ☐ Hijos ☐ Cónyuge e hijos ☐ Otros herederos ☐
En Madrid, a _____ de _____ de 199 _____
EL PARTICIPE

TRASLADO DEL PLAN DE OTRA ENTIDAD

ENTIDAD GESTORA: A _____ el _____ de _____ de 199 _____
REF.: PLAN DE PENSIONES:

Muy Sres. míos:

Como participe del Plan de Pensiones de referencia, les manifiesto mi deseo de traspasar mis Derechos Consolidados en el mismo, al PLAN DE PENSIONES DEL COLEGIO DE GEOLOGOS DE MADRID, por lo que les adjunto el correspondiente Certificado Número _____
En espera de que me informen del importe traspasado y de la fecha en que lo efectúen, les saludo muy atentamente:

D. _____ Firmado
N.I.F. _____

ESTAMOS A SU DISPOSICION EN

Europensiones, S. A.
Entidad Gestora de Planes de Pensiones
C/ Ortega y Gasset, 39
Tfno. 576 14 15
28006 MADRID

Grupo Banco Popular Español
En cualquiera de nuestras sucursales
BANCO POPULAR ESPAÑOL
BANCO DE ANDALUCIA
BANCO DE CASTILLA

BANCO DE CREDITO BALEAR
BANCO DE GALICIA
BANCO DE VASCONIA

RESPUESTA COMERCIAL
Autorización n.º 349
(B.O.E. N.º 2.219 DEL 8-II-71)

**QUEREMOS OFRECERTE
UN PLAN DE PENSIONES
A MEDIDA**

**PARA EL COLEGIO
OFICIAL DE GEOLOGOS**

APUNTATE



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS

NO
PONGA SELLO
a franquear
en destino

**BANCO
POPULAR
ESPAÑOL**



PRODUCTOS DE PREVISION

APARTADO N.º 53 F.D.
28080 MADRID

EDITA

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

ADMINISTRACION Y REDACCION

Avda. de Reina Victoria, 8-4.º B
28003 MADRID
Teléfono 91-5532403

DIRECTOR

Manuel Rolandi Sánchez-Solís

SUBDIRECTOR

José Casas Ruiz

MARKETING Y PUBLICIDAD

Enrique Pampliega Higuera

COORDINACION DE EDICION

Manuel Rolandi Sánchez-Solís y
Peter F. Wouters

COMITE EDITORIAL

José Casas Ruiz,
Juan José Durán Valsero,
Michael van der Meer,
Manuel Regueiro y González-Barros
Jesús Rey de la Rosa,
Jesús Rodríguez Jurado,
Manuel Rolandi Sánchez-Solís y
Peter F. Wouters

COLABORADORES

A. Arribas Herrera,
C. W. A. Browitt,
C. Busón Buesa,
J. Corominas,
F. Fernández Pompa,
F. Fernández Alonso,
L. Fernández Pérez,
F. Gonzalo Corral,
J. Giménez Moreno,
B. Claros Molina,
L. de Mingo Cachón,
B. Mariscal,
M.ª T. Piserra de Castro,
Manuel Regueiro y González-Barros
M. Rolandi Sánchez-Solís,
C. Robles Pérez,
L. E. Suárez Ordóñez

DISEÑO GRAFICO DE PORTADA

Equipo Franja diseño

FOTOCOMPOSICION E IMPRESION

Gráficas Summa, S. A.

EN PORTADA

Modelización mediante el Método de los
Elementos Finitos de las deformaciones
producidas por la excavación de un túnel
de ferrocarril en Terrassa (Barcelona)
Autor: Jordi Corominas

ISSN: 1131-5016

Depósito legal: M. 10.137-1992

Editorial 5

entrevista

Entrevista a D. Antonio Lozano del Moral. *L. E. Suárez Ordóñez* 6

opinión

«Contra el uso de ciertos barbarismos». *B. Claros Molina y C. Robles Pérez* 9

hidrogeología

Campo de Dalias: ¿sobreeplotación o desarrollo? *J. Giménez Moreno y
B. Mariscal* 12

geotecnia

Geología aplicada a la ingeniería e ingeniería geológica. *J. Corominas* 19

paleontología humana

La ruta del hombre en la comunidad de Madrid. *A. Arribas Herrera* 22

minería

Situación actual del sector de los minerales industriales en España.
F. Gonzalo Corral 27
Panorámica de la minería en España a través de la investigación.
F. Fernández Pompa 35
Los métodos de prospección geofísica aplicados a la exploración de
minerales industriales. Ejemplos prácticos. *F. Fernández Alonso* 39

medio ambiente

Los riesgos de la naturaleza y el mercado asegurador español. *L. de Mingo
Cachón, M.ª T. Piserra de Castro y C. Busón Buesa* 47
Aspectos geológicos e hidrogeológicos de la planta y vertedero de residuos
tóxicos de Santovenia de Pisuegra (Valladolid). *L. Fernández Pérez* 51

subsuelo

Predicción de terremotos y protección contra los mismos. *C. W. A. Browitt*... 57

historia de la minería

Apuntes históricos sobre la minería y la metalurgia antigua en el suroeste
peninsular. *M. Rolandi Sánchez-Solís* 61

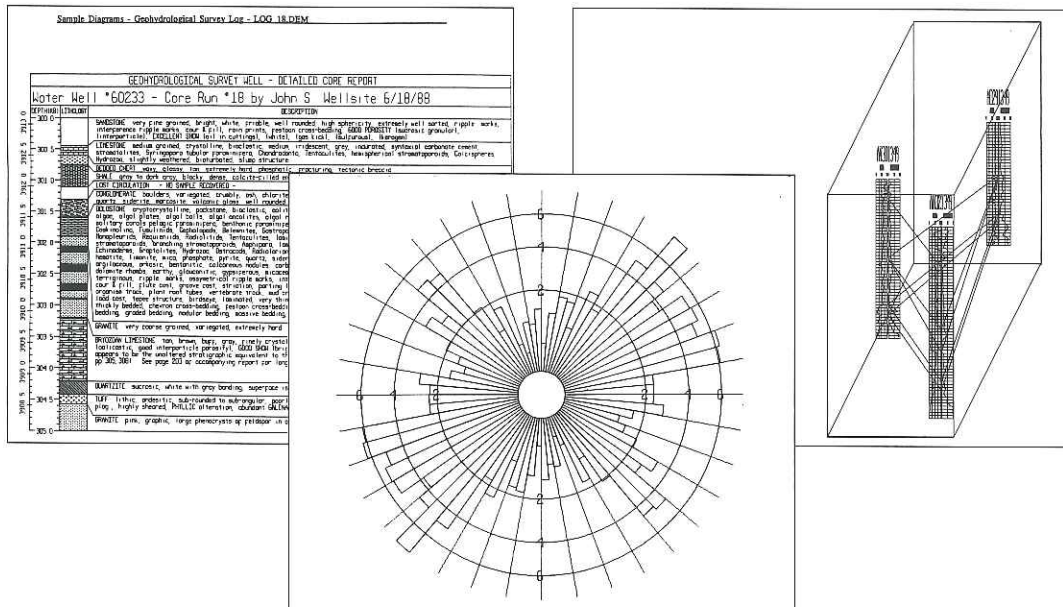
normativa y publicaciones 74

Los trabajos publicados expresan sólo la opinión de los autores y la Revista no se hace responsable de su contenido.

CURSO

SOBRE EL PROGRAMA DE APLICACIONES GEOLOGICAS

ROCKWARE



15 al 26 de NOVIEMBRE
LUNES-VIERNES 16:00-20:00
SALON DE ACTOS DEL ICOG

CARACTERISTICAS DEL CURSO

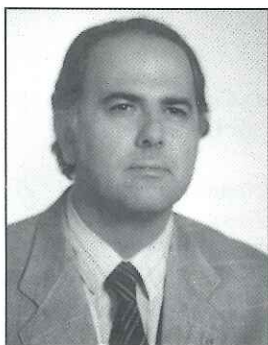
- **PRECIO:**
Colegiados en paro y alumnos de los últimos cursos: 25.000 PTAS.
Colegiados en activo: 40.000 PTAS.
No colegiados: 60.000 PTAS.
- **HORARIO:**
16:00-20:00 h. de lunes a viernes
- **DURACION:**
2 semanas
- **FECHAS:**
Del 15 al 26 de noviembre
- **PROFESORADO:**
Perera Alonso, Ismael
Geología Marina (ITGE)
Hernández Manchado, José Román
S.I.G. Area de Geología (ITGE)

PROGRAMA

- INTRODUCCION AL ROCKWARE
- PRINCIPALES MODULOS DEL PROGRAMA
- LOGGER: REALIZACION DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS Y DE SONDEOS
- STEREO: INTRODUCCION Y ANALISIS DE DATOS CON PROYECCION ESTEREOGRAFICA
- ROCKSTAT: MODULO ESTADISTICO
- DIGITIZE: INTRODUCCION DE DATOS MEDIANTE TABLETA DIGITALIZADORA
- MISC Y PLOT: MODULOS COMUNES Y SALIDAS GRAFICAS

En el curso se desarrollará un ejemplo real que haga uso de los distintos módulos del programa

**COORDINADORES
DE
EDICION**



Manuel Rolandi Sánchez-Solís

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense en el año 1976 y Director de la Revista **TIERRA Y TECNOLOGIA**, desde su fundación en 1991. En la actualidad es Vocal del Área de Hidrogeología en la Junta de Gobierno del I.C.O.G.



Peter F. Wouters

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Libre de Amsterdam. En EPTISA, una empresa de ingeniería española, ha realizado estudios geológicos, geomorfológicos y neotectónicos para el ITGE, ENRESA y para empresas privadas. Una parte importante de su actividad profesional consiste en la aplicación de sistemas GIS y otras herramientas informáticas a la geología. EPTISA, c/ Arapiles 14, 28015 Madrid.

EDITORIAL

Ya han pasado dos años desde que emprendimos la apasionante aventura de hacer realidad una nueva revista del Colegio de Geólogos, en la que se aglutinaron los más amplios y diversos aspectos de la actualidad geológica de nuestro país, junto con todo tipo de información cultural y de actividades propias de nuestro grupo profesional.

Este ambicioso y atractivo proyecto se ha llevar a cabo —y no sabemos si con el grado de acierto que todos hubiéramos deseado— con la valiosísima colaboración de un grupo de compañeros y amigos, cuya ilusión y desinteresada entrega, ha compensado sobradamente nuestra falta de profesionalidad y experiencia en el campo de las publicaciones periódicas. Ahora, dos años después, y con el quinto número de nuestra revista **TIERRA Y TECNOLOGIA** en la mano, podemos mirar con cierta satisfacción la labor realizada y el camino recorrido, gracias a los múltiples esfuerzos realizados en horas «libres» de las que prácticamente ya nadie dispone en una época dominada por las prisas, el stress y la falta de interés general por la participación en temas profesionales o culturales no remunerados o compensados. Esto, nos satisface aún más si cabe, pues corrobora y dignifica el esfuerzo añadido de todo el Comité de Redacción de esta revista, de los diferentes miembros de la Junta de Gobierno y del personal administrativo del I.C.O.G. y, sobre todo, de los múltiples colaboradores que han participado con sus artículos en la configuración de cada número, y sin cuya valiosísima colaboración —aunque suene a archiconocido tópico— no hubiera sido verdaderamente posible la realidad de la revista.

Mirando un poco atrás, y haciendo un breve repaso de los números publicados hasta la fecha, la revista **TIERRA Y TECNOLOGIA** ha tocado, con carácter prácticamente monográfico, cuatro grandes temas, referentes al medio ambiente, a la hidrogeología de la cuenca del Ebro, al estado de la minería en nuestro país y, por último, a la interacción entre la geología y la sociedad en Holanda, en un momento de especial acercamiento de nuestro país con su entorno natural y cultural europeo.

Pasada esta primera etapa de «arranque» con monografías temáticas, parece llegado ya el momento de intentar emprender la elaboración de números abiertos y más multitemáticos, en los que obviamente seguirán apareciendo temas centrales de más peso específico de acuerdo con la actualidad del momento, pero en los que se contemplen diferentes aspectos variados del mundo de la geología, que intentaremos aglutinar en secciones fijas de geotécnica, medio ambiente, hidrogeología, energéticos, minería, subsuelo, investigación y un largo etcétera que lo haremos tan extenso como el número de colaboradores de que dispongamos.

Un claro ejemplo de este tipo de números abiertos es el que tenéis en vuestras manos, que contiene un amplio número de artículos de muy diversa temática, con el que esperamos seguir mereciendo vuestra atención e interés.

ENTREVISTA A D. ANTONIO LOZANO DEL MORAL

DIRECTOR TECNICO DE MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA DE RENFE



Luis E. Suárez Ordóñez

Presidente del Ilustre Colegio
Oficial de Geólogos.

Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Ingeniero de Caminos. Diplomado en Dirección de Empresas (IESE). Diplomado en Control de Gestión (EOI). Diplomado en Proficiency por la University of Cambridge.

1972.—Ingresó en Renfe en la Jefatura de Instalaciones Fijas de la 1.ª Zona.

1979.—Jefe de Unidad de la Oficina Técnica. 1.ª Zona.

1982.—Jefe de Unidad de Infraestructura y Edificación. 1.ª Zona.

1986.—Gerente de Línea Este. Dirección de Ingeniería.

1989.—Director Técnico. Dirección de Mantenimiento de Infraestructura.

Civil engineer. Public Works technician. Master in Business Management (IESE). Master in Management Control (EOI). Proficiency Certificate in English (Cambridge University)

1972.—Joined RENFE in the 1ª Zona Facilities Division.

1979.—1ª Zone Technical Bureau Director.

1982.—1ª Zone Building and Infrastructure Unit Director.

1986.—East Line Manager. Engineering Division.

1989.—Technical Director of the Infrastructure Maintenance Division.

Cuáles son las funciones de su Dirección? ¿Cómo se estructura la misma y cuáles son sus relaciones con la estructura territorial de Mantenimiento de Infraestructura de Renfe?

—Resumiendo las dos grandes responsabilidades de la Dirección Técnica son:

a) La planificación de toda la acción del mantenimiento, tanto en aspecto básico como en la formulación de los planes de inversión.

b) Gestión de todos los aspectos técnicos que se engloban en el concepto de infraestructuras (vías, infraestructura propiamente dicha, instalaciones de seguridad, electrificación y telecomunicaciones), incluyendo en la gestión, desde la dirección de proyectos y ejecución de obras singulares, la supervisión de los realizados por las Gerencias de Eje, hasta la formación técnica, y confección de toda la normativa técnica precisa.

Para desarrollar las funciones anteriores, la Dirección Técnica está dividida en los 5 departamentos citados anteriormente, Vía, Infraestructura, Instalaciones, Electrificación y Telecomunicaciones.

Para asegurar la gestión de la in-

fraestructura de Renfe, la Dirección de Mantenimiento se organiza en las Gerencias de Eje, siendo las relaciones de la Dirección Técnica con esta estructura territorial básicamente de planificación de su actividad, de ayuda y control técnico.

—La Presidenta de Renfe ha comentado a los medios de comunicación la elaboración de un Plan de Mantenimiento Especial que permitirá una asignación de las inversiones en función de la rentabilidad de las líneas de Renfe. ¿Cuáles son las características y objetivos de este Plan?

—Las principales características del Plan Extraordinario de Mantenimiento de las Infraestructuras, son su flexibilidad (preparado para diversos escenarios presupuestarios); integrabilidad (están considerados todos los servicios); y modularidad (se ha discretizado la red ferroviaria para su análisis en trayectos y tramos, para su posterior integrabilidad a nivel de línea, eje o subred).

El objetivo del Plan, es la mejora sustancial de la calidad de la respuesta que las infraestructuras ferroviarias dan a las demandas de los operadores comerciales y que la sociedad exige,



adecuando la acción inversora (calidad futura) al servicio ferroviario exigido, para de esta manera racionalizar y optimizar los recursos asignados al ferrocarril.

—A la hora de establecer prioridades de actuación de Mantenimiento de Infraestructura, ¿qué criterios técnicos y estudios se emplean en su Dirección con el objeto de diseñar los Planes de Mantenimiento de Inversiones? ¿Qué papel juegan en este proceso de planificación técnica los Estudios de Riesgos Geotécnicos de la Infraestructura Ferroviaria?

—Los criterios se basan en el conocimiento profundo de los comportamientos y sus causas, de los elementos, equipos o trayectos analizados y las exigencias de calidad mínimas establecidas de forma específica para cada especialidad.

La concreción de las prioridades con los datos anteriores se objetiviza mediante aplicaciones informático desarrolladas al efecto.

En este sentido para la planificación de acciones en la Infraestructura (explanaciones y túneles) el elemento esencial y básico son los Estudios de Riesgos de la Infraestructura para el tercer componente de la infraestructura, los puentes, el elemento planificador son las auscultaciones y pruebas de carga, planificándose estas auscultaciones en función de las Ordenes de Prioridad de Anulación (OPA) obtenida de los ERGIS.

El Programa de Estudios de Riesgos desarrollado por la Jefatura de Geotécnica de esta Dirección desde 1987, con una importante inversión, en marzo de 1993, ha estudiado la infraestructura ferroviaria de kilómetros de la Red, inventariando geotécnicamente explanaciones (terraplenes y desmontes), puentes y túneles).

Los Estudios de Riesgos se abordan desde dos perspectivas diferentes: el subprograma ERGI (Estudios de Riesgos Geotécnicos de la Infraestructura), que se aborda de forma general para la Red y el subprograma ERA

(Estudios de Riesgos de Avenidas) para las líneas con problemática específica de inundaciones.

Todos los datos geotécnicos y de estado de conservación de cada elemento de la infraestructura son inventariados en una base de datos correlacional, que permite obtener índices de mantenimiento de infraestructura, desde nivel de tramo hasta nivel de Red, que permiten una planificación objetiva de las inversiones de mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, cuyo objetivo final es una asignación adecuada de los recursos económicos.

—Los planes de conservación, renovación y duplicación de vías requieren un fuerte volumen de inversión en áridos ferroviarios, balasto, ¿qué criterios de planificación y de control de calidad desarrolla Renace en esta materia?

—La calidad geotécnica del balasto es un factor clave en la estabilidad y durabilidad de la vía. Por ello, la Jefatura de Vía de esta Dirección, con el apoyo técnico de la Jefatura de Geotecnia ha llevado a cabo desde 1990 una importante labor técnica de planificación y control de calidad, y de coordinación con la Dirección de Contratación responsable del precio del balasto y de las Gerencias de Eje encargadas de la planificación de suministros.

En síntesis, se han llevado a cabo las siguientes acciones para la mejora de la calidad del balasto, soportada en una toma de decisión sobre bases objetivas.





1. Estudio estadístico de los resultados de los ensayos de control de calidad de todas las canteras suministradoras en 1990.

2. Deshomologación y suspensión definitiva de suministro de balasto de 5 canteras, en función del estudio anterior, por carencia de presentación del Informe Geotécnico de rehomologación.

3. Puesta en vigor del P.I.T.C. (Penalización en Incumplimiento Tolerado), en julio de 1991, que penaliza cada certificación mensual de balasto de las 26 canteras, en función de una fórmula solinómica, que recoge los resultados de los ensayos.

Este sistema, cuyo objeto es incentivar económicamente la mejora de calidad ha sido eficaz, ya que se ha conseguido bajar el P.I.T., desde julio de 1991 a diciembre de 1992.

4. Desarrollo de un programa informático de gestión del control de calidad del balasto, que permitirá objetivar la toma de decisiones sobre las canteras administradoras de balasto.

5. Exigencia de informes de homologación geotécnica de nuevas canteras suministradoras de calidad contrastada.

—Por influjo de la normativa comunitaria se ha producido en los últimos años un sustancial incremento en los estudios de impacto ambiental,

a fin de aportar el «imput» ambiental a los proyectos constructivos. ¿Qué acciones desarrolla su dirección en ese sentido?

—El Real Decreto Legislativo de 1302 de Evaluación de Impacto Ambiental prevé la realización de Estudios de Impacto Ambiental para líneas ferroviarias de nueva construcción. Dado que la construcción de nuevas líneas es competencia de MOPT, en las obras de mejora y modernización de la infraestructura ferroviaria usualmente, no estamos obligados legalmente a realizar estos estudios.

No obstante, cuando nuestras obras de infraestructura afectan a un espacio natural protegido por ley estatal o autonómica o nuestros técnicos, aún no existiendo obligatoriedad legal, juzgan oportuno realizar un estudio de Impacto Ambiental se realiza el mismo, a fin de dotar a los proyectos de ejecución de obra el adecuado «imput» ambiental. En esta línea, posteriormente al estudio geotécnico de consolidación de la trinchera de Alcanadre en la línea Castejón-Bilbao, se realizó el Estudio de Impacto Ambiental cuyas recomendaciones alternativas se tuvieron en cuenta en el proyecto constructivo.

—¿Cuáles son las últimas líneas de investigación ferroviaria en el ámbito de la geotecnia dentro de su Dirección?

—Una de las funciones importantes de esta Dirección Técnica es estudiar el desarrollo de nuevas aplicaciones en los diferentes campos de la tecnología ferroviaria. En lo que se refiere a la geotecnia las nuevas líneas de desarrollo son las siguientes:

En el área de riesgos geotécnicos, se va abordar en los túneles de Pajares, en la línea León-Gijón, con el apoyo técnico de la Gerencia de Eje Noroeste, el estudio de riegos geotécnicos mediante el método C.E.D.T.E.S. (Clasificación del Estado de Deterioro de los Túneles en Servicio), que prioriza los niveles de actuación mediante la realización de una «clasificación geomecánica» que califica cada gasto geotécnico influyente en el estado de deterioro.

Recientemente, se ha concluido el proyecto piloto de estudio geotécnico de plataforma de vía para implementar su metodología en la adecuación a 200 K/h del triángulo de oro Madrid-Valencia-Barcelona. En síntesis, se han dividido el tramo de estudio Villarrobledo-La Roda de 41 Km en segmentos de calidad geotécnica homogénea, en función de las normas geotécnicas de la Unión Internacionale des Chemins de Fer, estableciéndose una metodología de investigación geotécnica que establece la necesidad de actuación en la plataforma, en función de su calidad.

Asimismo, en este tramo se ha llevado a cabo un estudio piloto de resistividad eléctrica por métodos electromagnéticos ULF del terreno a fin de diseñar las tomas de tierra de las columnas de electrificación de acuerdo con las Instrucciones Técnicas que obligan a las medidas de resistividad para estas instalaciones.

Por último, se llevará a cabo un proyecto de estudio de ensayos geotécnicos y del comportamiento del balasto en vía, a fin de elaborar una nueva norma de calidad de balasto.

—¿Qué importancia concede a la formación y adecuación de conocimientos del personal técnico de su Dirección?

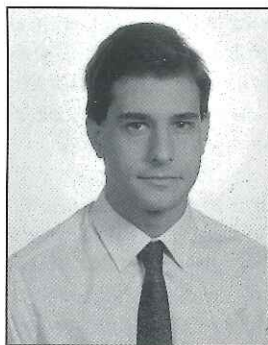
—Mi dirección, como su propio nombre indica es eminentemente técnica, y por tanto concedo a la formación del personal (esencialmente técnico) la máxima importancia, facilitando en la medida de lo posible la asistencia a múltiples cursos, seminarios o jornadas técnicas que con frecuencia tienen lugar en nuestro país. ■

«CONTRA EL USO DE CIERTOS BARBARISMOS»



Bernardo Claros Molina

Alumno de Geología. Director del Servicio de Información y Asesoramiento al Estudiante de la Universidad de Granada.



César Robles Pérez

Licenciado en Geología. Profesional autónomo y Gestor Medioambiental del Ayuntamiento de Guejar Sierra, municipio ubicado en el Parque Natural de Sierra Nevada (Granada).

En los últimos años se ha generalizado dentro de la Geología y la Paleontología, el uso de términos anglosajones. Este artículo analiza las razones históricas de tal utilización, y justifica el uso razonable de tales vocablos. Sin embargo, se llama la atención sobre determinados comportamientos lingüísticos que pueden crear confusión o mal uso de algunos términos científicos.

On the last few years the use of anglosaxons terms has become generalized in Geology and Paleontology. This article analyses the historic reasons of such use, and justifies the reasonable use of this vocabulary. Attention should be paid to determined linguistic behaviour that can cause confusion or the incorrect use of scientific terms.

Un hecho aceptado sin discusión en la geología actual y que a muchos estudiantes suele crear alguna que otra confusión es el uso, a veces abusivo, de términos anglosajones en el argot propio del profesional de la geología y la paleontología. Esta circunstancia, que puede parecer tan trivial y tan intrascendente, suele ser explicada de manera tópica como una manifestación de un abstracto colonialismo cultural (en este caso científico) o como la consecuencia de una superioridad en materia científica de los países de ese ámbito.

Comportamientos como éste no suelen merecer ni la más mínima reflexión por parte de la comunidad científica. Nosotros, sin embargo, pensamos que cualquier rama del conocimiento científico se enriquece no sólo por la labor «aséptica» de investigación y síntesis teórica sino también por la reflexión del propio científico sobre los condicionantes socio-culturales de su contexto actual y la influencia del devenir histórico de su área de conocimiento.

La utilización de términos anglosajones tiene causas históricas que vamos a intentar analizar. También afirmamos que estas causas justifican, en algunos casos, el uso de algunos de estos términos pero no por ello es pertinente el abuso indiscriminado o el uso abusivo de una terminología foránea.

Desarrollo histórico

La geología como ciencia (y dentro de ella la Paleontología) alcanza su

madurez en la primera mitad del siglo XIX, y curiosamente dicha madurez comienza con una afirmación contradictoria del propio Lyell realizada el 12 de enero de 1829 en una carta a su amigo Roderick Murchison: «debemos defender la necesidad de los viajes... como primer, segundo y tercer requisitos para todo geólogo moderno, dada la actual etapa de adolescencia de esta ciencia». Es el propio Lyell quien pone fin a esta etapa un año más tarde con la publicación de su libro «Principles of geology» (1830) a raíz del cual se inicia el debate acerca de las cuestiones centrales de la geología de la época y que consigue la implantación de un nuevo marco teórico que abría un gran abanico de posibilidades a la geología del momento.

Este nuevo marco nace en el seno de un contexto histórico que marca el desarrollo posterior de la geología. En la Europa de entonces las comunidades nacionales de científicos estaban enfrascadas en reflexiones y debates de muy diversa índole. Mientras que en la Inglaterra de principios de siglo el objetivo fundamental de la tarea geológica y paleontológica era el de reconciliar la ciencia con la creación divina revelada en las Escrituras (uno de estos intentos de reconciliación es el desarrollo de las teorías diluvialistas de Buckland), en Francia la revolución había traído nuevos aires a la actividad científica en general y a la geología y la paleontología en particular. Por un decreto de la Convención se creaba el Museo Nacional de Historia Natural, cuyas doce cátedras fueron ocupadas

entre otros por Cuvier (Anatomía), Lamarck (Invertebrados), Saint-Fond (Geología) y Saint-Hilaire (Vertebrados). Esta institución iba a dominar el panorama europeo de las Ciencias Naturales durante el primer cuarto del siglo XIX. Una de las razones de esta preeminencia fue el que esta institución gozó del apoyo total del nuevo Estado revolucionario que atisba en la Historia Natural una manera de dar justificación racional a un nuevo tipo de sociedad. Los intereses de la geología y la paleontología francesa estuvieron por tanto centrados en dos puntos: por un lado en la búsqueda de una condición natural del hombre mediante el estudio de su historia biológica y por otro, impulsada por aspectos económicos vitales para un estado que pretendía liberar a toda Europa, en la profundización y mejora de las técnicas de la minería. Surgieron así importantes revistas especializadas enteramente en cuestiones geológicas (por ejemplo la *Journal des Mines*).

Alemania mientras tanto estaba en cabeza en cuanto a calidad de sus Universidades y al número de profesores que éstas mantenían. Esto la convirtió en un centro importante de investigación geológica dentro del continente. Sin embargo la excesiva orientación de sus escuelas hacia la minería limitó su campo de influencia a la geología práctica, que desarrolló de manera sorprendente ayudada por la existencia de importantes yacimientos en su territorio. Muchos términos mineros son heredados de esta escuela alemana. La geología en este país (al igual que todas las ciencias) sufrió los avatares de la desintegración territorial alemana y la posterior efervescencia de los sentimientos nacionalistas. Condicionada por este contexto histórico y a pesar de sus grandes potencialidades, la geología alemana no pudo discutir la supremacía francesa en el continente en cuanto a la aportación de soluciones teóricas a los problemas planteados en esos momentos.

En la Inglaterra de esta época, sumida en debates cuasi filosóficos y dedicada a la publicación de grandes monografías de contenido intermedio entre la teología y la geología, aparece el germen de lo que será la nueva geología; en 1807 se funda la Geological Society como institución independiente de la Royal Society tras fuertes discrepancias con el presidente de ésta, sir Joseph Banks. Esta fue la primera sociedad de-

dicada enteramente a la geología que aparece en el mundo y, debido a las características de sus integrantes y a sus métodos de investigación cooperativa, la que asumió el papel de renovadora de la geología europea.

La historia y los usos posteriores de la geología se ven determinados por el papel preponderante que asumirá dicha sociedad, por tanto es interesante desvelar algunas de las claves que conllevieron tanto éxito a su labor.

La mayoría de los miembros eminentes de la Sociedad no sobrepasaban la treintena, por ejemplo Lyell tenía 25 años cuando llegó al cargo de secretario, Murchinson rondaba la treintena cuando fue nombrado secretario para el Exterior y su presidente Fitton sobrepasaba apenas los cuarenta años. Tanta juventud vigoriza el esquema de trabajo de la sociedad.

El contraste entre la Geological Society y el Museo de París refleja con precisión el contraste entre las posiciones adoptadas por la ciencia en ambos países. Mientras que el museo había sido financiado generosamente por el estado francés la Geological Society era una organización totalmente privada que dependía casi totalmente de las suscripciones de sus socios, lo cual dejaba sus manos libres para trabajar sin intereses estatales de por medio.

Mientras que la astronomía siguió siendo la ciencia aristocrática inglesa por naturaleza, la geología se ajustaba mejor a las preferencias de la burguesía de clase media. El encanto de la geología había capturado a hombres que con recursos económicos suficientes y ocio abundante podían dedicarse con pasión a ella. Ninguno de ellos era geólogo de formación y por tanto no estaban constreñidos por los dogmas imperantes en el academicismo geológico inglés. Lyell se había formado como abogado, Murchinson había seguido la carrera militar, Fitton y Mantell eran médicos profesionales y Conybeare era clérigo. Todos ellos tenían medios económicos saneados que les permitían dedicarse a la geología con un enfoque desprovisto de interés económico inmediato. Sus inquietudes científicas se centraban, por ello, en temas muy variados, pero con el denominador común de imprimir una fuerte carga teórica a cada aspecto tratado, intentando hacer una labor de síntesis en base a datos obtenidos por otros y dar una fundamentación teórica a la ciencia práctica del momento.

Otro factor importante en la hegemonía de la ciencia inglesa del momento era el sentido de fuerza y confianza corporativas no exento de connotaciones nacionalistas de la Inglaterra del momento. No debemos olvidar que Inglaterra está iniciando su período de máxima expansión colonial.

A consecuencia de todo esto, la ciencia inglesa, y en particular la Geological Society, comienza a dominar el panorama teórico de la Ciencia de este siglo. De esta manera se produce la sustitución del Museo de París como centro de irradiación de la investigación geológica europea.

Un aspecto fundamental de esa visión inglesa de la geología es su afán de internacionalización del debate científico. Como grandes teóricos asumen la necesidad de los datos que pueden aportar científicos de todas partes del mundo. Personajes como Lyell o Murchinson (embajador científico por las cortes europeas de la época en su cargo de secretario de relaciones exteriores de la Sociedad) asumen que para producir una síntesis teórica válida, la ciencia debe integrar todos los datos aislados que la investigación geológica está produciendo en ese momento. Se convierten por tanto en grandes viajeros (Viaje de Lyell a Sicilia o de Murchinson a Francia) y abogan por los contactos entre las diferentes comunidades científicas nacionales. Como fruto de estos contactos se hace evidente la necesidad de uniformar la terminología básica de uso común y los límites del marco teórico dentro del cual se generen los debates. Esta uniformidad lingüística se había solventado en otras ciencias que hacían uso de un aparato matemático importante con la creación de un lenguaje semisimbólico común, fácil de entender por los científicos de las distintas nacionalidades. Sin embargo en ciencias más especulativas y con un menor uso de las matemáticas no existía tal posibilidad por la complejidad de las ideas desarrolladas. En estas ciencias se recurre a términos del lenguaje natural importados del idioma usado por el país que domina ese área de conocimiento (en lingüística el francés, en filosofía las lenguas clásicas más el alemán, en minerología el alemán y en geología el inglés). En Geología y Paleontología podrían aportarse

cientos de términos foráneos de uso común.

Algunos de ellos están justificados por dos razones: la primera sería la inexistencia en castellano de un término de significación equivalente y la segunda por las razones históricas que hemos expuesto más arriba. Existe sin embargo una gran cantidad de términos usados sin otra razón aparente que la comodidad y que en muchas ocasiones, no sólo son gratuitos sino además incorrectos.

Como queda justificado arriba, el uso de términos foráneos, y en concreto ingleses responde inicialmente a una aspiración de la comunidad científica por uniformar el lenguaje y trascender las fronteras nacionales. Sin dicho uso responde a esta aspiración no puede ser por tanto punible o deshonoroso. Se producen sin embargo situaciones anómalas que sí habrían de ser aclaradas. Nos referimos en concreto a términos que se usan inapropiadamente y que si tienen una influencia perniciosa tanto en los hábitos lingüísticos como en el terreno conceptual. En ocasiones, para traducir un término anglosajón se adopta el término castellano más parecido frenéticamente, no correspondiendo en muchos casos el campo con-

ceptual de ambos vocablos. Estos usos perjudican sobre todo la transmisión de los conceptos a los estudiantes, e incluso a veces oscurecen los debates entre profesionales.

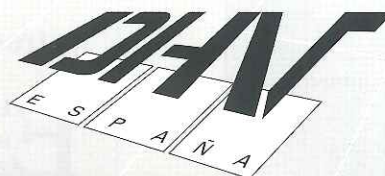
Podíamos presentar varios ejemplos de términos heredados de antiguo y que serían inadecuados en su uso, pero en el caso de la Paleontología hay ejemplos muy actuales que podemos presentar como canon de uso incorrecto.

Un ejemplo concreto de lo anterior es el uso muy difundido del término «equilibrio puntuado». El uso de este término representa un defecto de barbarismo por una mala traducción y uso del término inglés. Definido por primera vez por S. J. Gould y Elredge en su artículo de 1977 con el término «Punctuated equilibria» su traducción castellana no representa ni lingüística ni conceptualmente el término inglés. El término inglés alude a las interrupciones bruscas de largos períodos de estabilidad, por cuanto el participio «punctuated» se refiere al modo de separar unas frases de otras mediante pausas o puntos. Las traducciones literales «puntuado» o «pausado», ni transmiten fácilmente esa imagen de intermisión ni es ese su significado más común. Los adjetivos puntual o pausado nada tienen que ver con lo que se quiere re-

presentar; el primero de ellos se ha usado en la jerga de laboratorio (como también el barbarismo «puntuacional») por su semejanza fonética con la palabra inglesa. Por último, el calificativo «intermitente» sugiere una tendencia cíclica que no es del caso.

Para este caso concreto nosotros proponemos el uso del término «equilibrio interrumpido» que refleja mejor el contenido conceptual del término inglés y que además se adecúa mejor al buen uso del lenguaje. Este término supone cortar la continuación de una acción en el lugar o en el tiempo. El uso de este término refleja mejor el concepto original de un éxtasis evolutivo interrumpido por breves períodos en los que la tasa de cambio muy intensa da lugar a la aparición de nuevas formas que se estancan otra vez durante largos períodos de tiempo.

En resumen, aunque el uso de términos foráneos no constituye una práctica nociva sí existen ciertas deformaciones que, en muchos casos por comodidad, pueden perjudicar el desarrollo de la transmisión de conceptos científicos y de la propia ciencia. Dichas prácticas sí merecen la erradicación y la atención de la comunidad científica. ■



Gestión e Ingeniería de Agua y Medioambiente

DHV España SL
Avenida de los Madroños, 55
28043 Madrid

tel (91) 300 38 78
fax (91) 388 08 01

CAMPO DE DALÍAS: ¿SOBREEXPLOTACION O DESARROLLO?



Julia Giménez Moreno

Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Consultora independiente, experta en teledetección y estudios medioambientales ha realizado varios trabajos de gestión de recursos y residuos, e ingeniería ambiental.



Blanca Mariscal

Doctora en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Participa en proyectos I + D de la CE, CSIC, Junta de Castilla y León, sobre Medio Ambiente. Estudia la evolución de los procesos de deforestación mediante análisis palinológicos y evalúa los impactos ambientales. En la actualidad es directora de Arkeoceres, S. L. Sociedad de Investigación Medio Ambiental y Gearqueología.

La agricultura como motor del desarrollo en el Campo de Dalías (Almería) ha causado la sobreexplotación de las aguas subterráneas, debido esencialmente al continuo aumento de la superficie cultivada y a la evolución e incremento de la población.

La actividad antrópica ha provocado la contaminación de las aguas subterráneas debido a los residuos líquidos y sólidos urbanos, a los agentes contaminantes relacionados con las prácticas agrícolas e industriales y a la intrusión marina causada por el excesivo bombeo del agua de los acuíferos.

Por ello, se ha estudiado el alto riesgo de salinización y el descenso de los niveles piezométricos, que en la actualidad están por debajo del mar y se considera necesario una serie de medidas que tiendan a una gestión medioambiental de protección de los recursos hidráulicos subterráneos después de la declaración de acuíferos sobreexplotados.

The agriculture, as the fuel of the development in Campo de las Dalías (Almería), has caused the overexploitation of the underground water reservoirs, due essentially to a continuous increase in the cultivated surface and to the evolution and growth of the population.

Human activity has provoked underground water pollution due to the liquid and solid urban residues, the pollution agents related with agricultural and industrial activities and marine intrusion caused by excessive extraction on the aquifers.

The risk of salinization and the reduction in the piezometric levels, currently under the sea water level, have been studied and several measures are considered so as to propose an environmental management of the underground hydraulic resources, after the declaration of overexploited aquifers.

Introducción

El objetivo de este trabajo es dar a conocer la situación de los acuíferos de Campo de Dalías y valorar el impacto que sufre la comarca en lo referente al recurso agua.

En 1971 y desde 1975 hasta 1979 el IGME se cionó al control rutinario de los niveles piezométricos y a algunos muestreos hidrogeológicos enmarcados en el Programa Nacional de Estudios para la Gestión y Conservación de Acuíferos.

No obstante el IGME llevó a cabo un estudio para utilizar los excedentes hídricos del río Adra en la recarga artificial del Campo.

En 1980 se programó, también por parte del IGME y junto con una Empresa Consultora, la determinación del riesgo de la intrusión marina en el Campo. El inicio de este estudio surge como consecuencia de las observaciones de los continuos descensos de los niveles piezométricos.

A partir de 1985, el IGME ha continuado su labor dentro del área, en colaboración con la Escuela de Minas de París, pero los resultados obtenidos permanecen inéditos.

También IRYDA en 1979, ADARO, INIA e ICONA han realizado trabajos, que en su mayoría han permanecido inéditos.

Pulido Bosch lleva realizando, desde hace una década, numerosos estudios sobre la caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalías, coordinando estas actividades desde la Universidad de Granada.

López Vera en 1981 estudia las posibilidades de la utilización de técnicas isotópicas, en las aguas subterráneas de Andalucía y su dinámica en Campo de Dalías, a partir de datos geoquímicos y de isótopos ambientales.

Pero en la actualidad los contenidos salinos de los acuíferos son tan elevados, que para su utilización en los cultivos, han de mezclarse con aguas

menos concentradas procedentes de otras zonas.

Además, la aplicación de técnicas de agricultura intensiva, con el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos, está suponiendo la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos. El aumento continuo de la población, la transformación radical del paisaje local convertido en una superficie cultivada cubierta de plásticos, el peligro de desaparición de la reserva natural cercana, aconseja no sólo restringir el aumento de superficie regada sino gestionar una explotación más racional de un bien escaso como es el agua, valorando el largo período de tiempo necesario para la recarga de los acuíferos, a causa de factores climáticos y geomorfológicos, principalmente.

Principales rasgos del campo de Dalías

El Campo de Dalías se sitúa muy próximo al extremo suroccidental de la Provincia de Almería entre las cuencas vertientes de los ríos Adra y Andarax. Ocupa una superficie de 330 Km².

El límite septentrional está constituido por las estribaciones de la Sierra de Gádor, mientras que los bordes restantes los ocupa el mar (Figura 1).

La Sierra de Gádor y el Campo de Dalías, son dos unidades fisiográficas diferentes aunque colindantes y estre-

chamente relacionadas en múltiples aspectos. El Campo de Dalías se extiende, en forma triangular, al sur de la Sierra de Gádor, a su vez limitada al Este y al oeste por el mar Mediterráneo. El Campo de Dalías es un pie de monte de edad Mioplio-cuaternaria, que constituye una llanura con suave pendiente hacia el mar.

A partir de 1950 empiezan a desarrollarse cultivos enarenados, regados con aguas subterráneas y en la última década se desarrollan nuevas técnicas de invernaderos bajo plásticos, riegos por goteo, fertilizantes, etc., consiguiendo varias cosechas en el transcurso de un año. En la actualidad la agricultura intensiva bajo plástico en Dalías ocupa 20.000 hectáreas, Fernández Durán (1993).

El despegue económico de la provincia de Almería se ha hecho, en gran parte, como consecuencia de la actividad agrícola del Campo de Dalías. A ello ha contribuido las características climáticas del área que han permitido el cultivo de numerosos productos hortícolas en épocas en las que el mercado así lo ha requerido, gracias al gran número de horas de insolación y al ingenio y esfuerzo del agricultor almeriense.

La agricultura contribuye en gran medida a una sobreexplotación de los acuíferos y de la mano de obra inmigrante barata, por lo que se puede definir esta situación de falso desarrollo,

ya que el agua subterránea se agota y saliniza. Solamente cabe una explicación para estos tipos de actuaciones y es debida a la lógica de un modelo económico que prioriza el máximo beneficio a corto plazo.

A este crecimiento, relacionado con la agricultura, hay que añadir el incremento de la población estival, que se produce en los núcleos turísticos del Campo, localizado en el sector de Aguadulce-Roquetas y en el complejo llamado Almerimar.

La industria desarrollada en el Campo es escasa y, en general, relacionada con la elaboración del producto agrícola, por lo tanto no se conoce altos consumos de agua industrial.

Hidrogeología

Tras consultar la información disponible, tanto geológica (columnas de sondeos, cartografías del área, series levantadas) como hidrológica (isopiezas, fluctuaciones piezométricas, parámetros hidráulicos, etc.), se ha observado que se han diferenciado tres unidades hidrológicas (Figura 2), coincidiendo en ello tanto el IGME (1988), como el Departamento de Geoquímica y Química Analítica de la Universidad de Granada y otros autores.

Estas unidades son:

Acuífero de Balerna-Las Marinas, que ocupa la mayor parte del área.

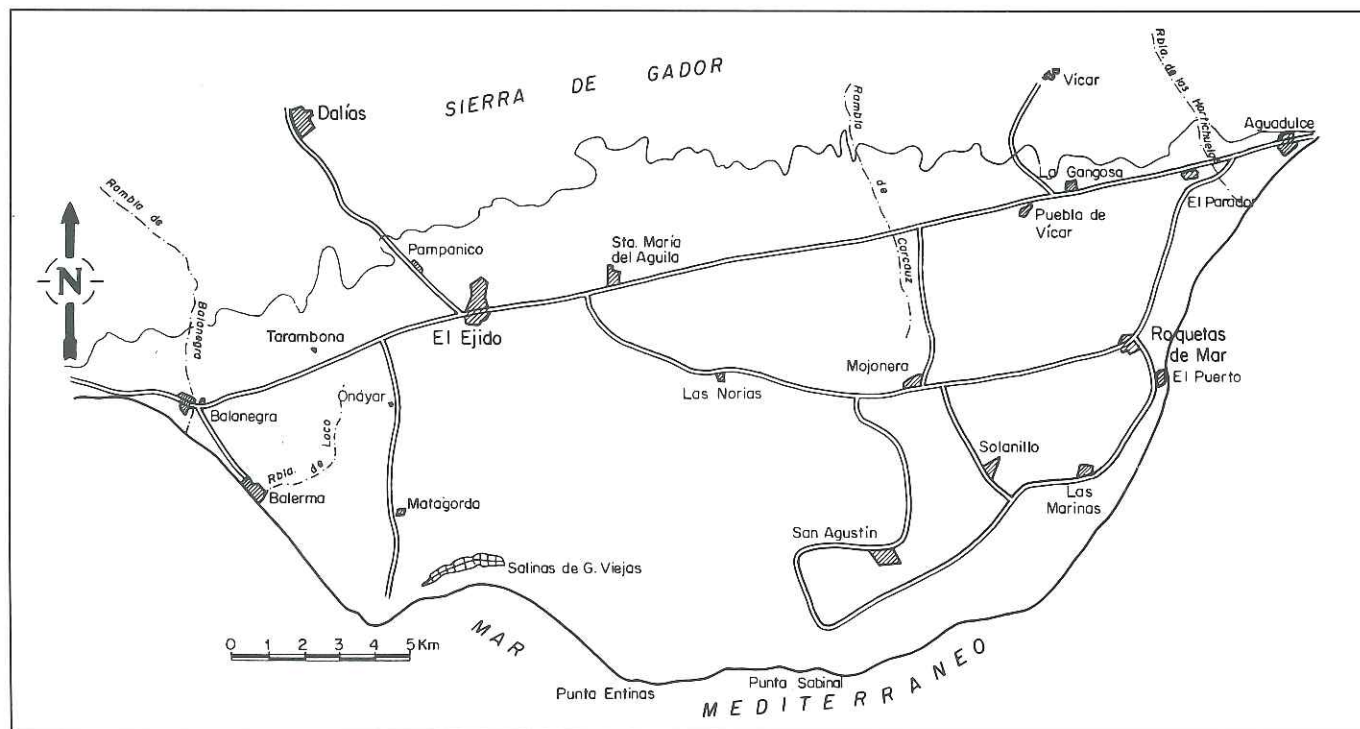


Figura 1.-El Campo de Dalías.

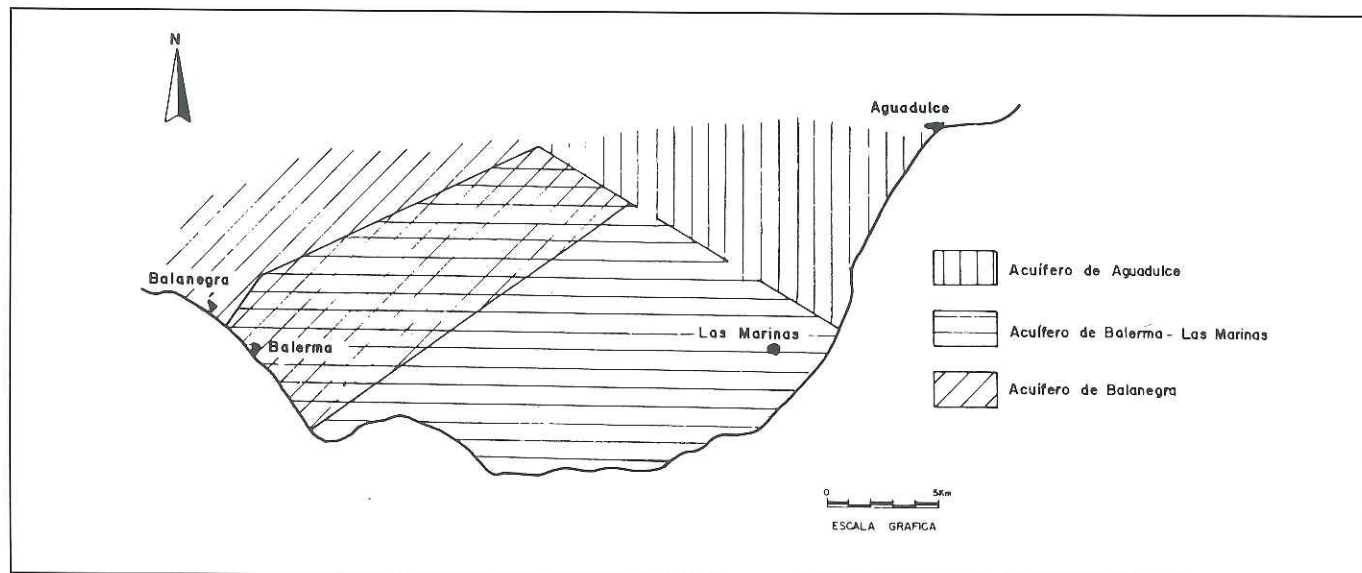


Figura 2.-Situación y límites de los acuíferos del Campo de Dalías

Acuífero *Balanegra*.

Acuífero *Aguadulce*, en el extremo oriental del Campo.

Acuífero de Balerna-Las Marinas

Esta unidad es la que ocupa mayor extensión en todo el Campo, con 225 Km² de afloramiento. Se extiende a todo lo largo de la llanura litoral, quedando fuera sólo el borde nororiental y la franja de los piedemonte. Sobre este acuífero se encuentra la parte más importante de la actividad agrícola (**Figura 3**).

El material acuífero está esencialmente integrado por calcarenitas pliocenas, aunque existen depósitos cuaternarios sobre estos materiales, también de comportamiento acuífero. El espesor de estos materiales pliocenos decrece en general, de Norte a Sur, al tiempo que aumenta la proporción en elementos terrígenos.

El sustrato impermeable del acuífero está integrado por las margas grises pliocenas cuyo espesor puede superar los 700 metros. Como el paso es gradual desde las calcarenitas a las margas, con presencia de margas arenosas, el salto de permeabilidad es igualmente progresivo. En lo concerniente a los límites del acuífero y su naturaleza, todo el borde meridional está constituido por el mar y por ello, se trata de un límite potencial constante, sin embargo, en ningún punto son las calcarenitas las que se ponen en contacto con el mar, sino que son las margas arenosas o los sedimentos cuaternarios,

que ocupan la franja costera, ello tiene gran importancia hidrológica.

Las aguas de este acuífero son las más vulnerables por tener lugar en su superficie la mayor parte de las actividades agrícolas. Además, de forma natural, el material acuífero y su base semipermeable son susceptibles de aportar sales en cantidades relativamente importantes.

Acuífero de Balanegra

Ocupa la unidad occidental del Campo y tiene parte bajo el acuífero de Balerna-Las Marinas, y separado de él por las margas pliocenas que actúan de techo confinante. Es una unidad hidrológica que ocupa del orden de 195 Km² de los que la mitad se encuentran confinados bajo margas pliocenas.

El material acuífero de esta unidad corresponde a las dolomías de Gádor, esencialmente, aunque las calcarenitas miocenas también pueden participar en el almacenamiento. El sustrato impermeable se considera integrado por las metapilitas basales del manto de Gádor.

El límite meridional debe ser el mar, aunque no a todo lo largo del litoral está el acuífero en contacto con el mar, sino tan sólo a través de la Escama de Balsa Negra.

La existencia de valores del nivel piezométrico por debajo del nivel del mar en este acuífero es un hecho ya constatado por todos los organismos que han estudiado este área, en 1981 se llegan a medir 5 metros y en 1982 deja de medirse el piezómetro al quedarse en seco.

Con la disposición de la superficie piezométrica, se puede indicar que las salidas ocultas del agua hacia el mar son prácticamente nulas, produciéndose, por el contrario, una entrada de agua salada en el acuífero, que tiende a ocupar el volumen vacío por las extracciones.

Acuífero de agua dulce

Es la unidad hidrológica de mayor complejidad tectónica y la de geometría menos conocida. Junto a la existencia de los materiales acuíferos presentes en el Campo, en cortes verticales se suceden varias formaciones acuíferas separadas por otras tantas formaciones de baja permeabilidad, dando lugar a un auténtico multicapa, sin embargo, lateralmente se pueden acuñar algunas de las formaciones de manera más o menos brusca y en medio de todo ello, se tienen las rocas volcánicas de geometría escasamente conocida.

En esta unidad los materiales de los mantos de Félix adquieren un amplio desarrollo, reparando sobre los materiales de Gádor, el tramo Carbonífero de Félix, mucho menos potente que el de Gádor, está separado de éste por un tramo basal de filitas, por lo que en estos casos existen dos niveles acuíferos individualizados, en relación con los tramos carbonatados de ambos mantos existen las calcarenitas miocenas, en conexión hidráulica, estas pueden estar a veces también sobre las filitas de Félix, allí donde el tramo carbonático no existe.

La gran cantidad de fracturas existentes, algunas de gran salto, favorecen la conexión hidráulica entre los diferentes tramos.

La tasa de descenso de los niveles piezométricos en este acuífero, es aún mayor en períodos más recientes, en 1992 se alcanzan niveles de más de 20 metros bajo el nivel del mar. Por ello, se considera que esta unidad hidrológica está sometida a una sobreexplotación con el consiguiente riesgo de intrusión marina.

Hidrogeoquímica

Adquisición del dato.

La elaboración de los datos hidrogeoquímicos se inicia con los muestreos y toma de medidas «in situ», prosigue con las determinaciones analíticas en laboratorio y en tratamiento posterior como labor previa a la interpretación.

Estos muestreos han requerido el establecimiento de redes de control de diferente periodicidad de muestreo y han sido realizadas por diferentes organismos e Instituciones Científicas, refiriéndonos a continuación a las que llevaron a cabo el Departamento de Geodinámica y Química Analítica de la Universidad de Granada, estudio coordinado por Pulido Bosch (1987). Con la toma de muestras se han hecho mediciones de conductividad y temperatura. En el caso de las obras de captación realizadas, las medidas se hicieron a la salida del tubo. También se incluyeron en la red de muestreo sondeos y pozos sin instalar, lo que, si bien exige que el muestreo sea más lento permitió hacer el registro vertical de los parámetros que se medían. Se anotaron datos sobre apreciaciones concernientes a turbidez, olor, color y temperatura.

Se realizaron los siguientes análisis referentes a:

Conductividad eléctrica, pH, Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Cloruro, Carbonatos y Bicarbonatos, Sulfatos, Fluoruros, Nitratos, Nitritos, Amoníaco, Boro y Bromuros.

Establecimiento de las redes de control

El planteamiento de una red de control de periodicidad de muestreo semestral tiene como objetivo el conocer las variaciones espaciales de los parámetros físico-químicos, en las aguas subterráneas del Campo de Dalías. Pulido Bosch (1987), coordinó el

establecimiento de una red semestral de 257 puntos de agua que permitiera el conocimiento de las variaciones hidroquímicas espaciales, en la horizontal y en la vertical.

Una caracterización hidrogeoquímica adecuada exige el conocimiento de las variaciones estacionales de los parámetros físico-químicos de sus aguas subterráneas, durante el año de control prefijado. Por ello, se establecieron dos redes de control, con periodicidad de muestreo mensual en una y diaria en otra, seleccionando para la primera 31 puntos y para la segunda 10 de la red semestral.

Elaboración y tratamiento de los datos

Para esta fase del estudio se ha utilizado el paquete de programas realizado por Padilla (1986). Para introducir los datos de los análisis químicos se han creado 17 ficheros, elaborándose para obtener varios tipos de salidas correspondientes a:

- Listados analíticos con cálculo de algunos parámetros hidroquímicos.
- Cálculo de proporciones iónicas y dibujo en impresora de diagramas triangulares.

- Establecimiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).
- Cálculo de parámetros estadísticos básicos (media y varianza) y distribución de frecuencias.

- Análisis multivariante.

Se determinaron índices como:

- Índice de cambio de bases (ICB), o de desequilibrio entre cloruros y alcalinos.

- Índice Kv proporcional a la presión parcial del CO₂ del agua.

- Índice SAR, para clasificación de las aguas según su aptitud para regadíos.

Completan los listados analíticos una serie de relaciones como: Mg/Ca, C/HNO₃, SO₄/Mg, HCO₃/Na y HO₃/Ca.

El estudio se ha desarrollado bajo tres aproximaciones diferentes:

1.-Variaciones espaciales. Para una determinada fecha o período de muestreo, se consideran diferentes puntos de agua distribuida por el acuífero.

2.-Variaciones temporales. En un punto de agua determinado, se consideran los registros correspondientes a diferentes muestreos.

3.-Variaciones generales. Incluyen los registros de varios puntos de agua en muestreos diferentes.

Calidad de las aguas subterráneas

Para establecer la calidad de las aguas subterráneas Pulido ha partido de los resultados de los muestreos semestrales y se ha tomado como referencia la normativa del R. D. 1.423/1982 para abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público, restringiéndose a las características físico-químicas determinadas.

Ninguno de los puntos analizados en su estudio podía considerarse como potable según esta normativa siendo los que más aproximan, las captaciones de Tierras de Almería, al Norte de El Ejido, aunque sí pueden alcanzar los límites de tolerabilidad.

Para establecer la calidad para el uso agrícola la clasificación tiene en cuenta conjuntamente los riesgos de salinización del suelo (cuantificados en base a la conductividad eléctrica de las aguas) y los de alcalinización del mismo (cuantificados en base al índice SAR, o relación de absorción de sodio). Esta clasificación es muy restrictiva, pero se ha utilizado por ser la más extendida.

Acuífero de Balerna-Las Marinas

Algo más del 95 % de las aguas de este acuífero resultan no tolerables según las especificaciones descritas. Sobrepasan los límites permitidos los contenidos de conductividad eléctrica, cloruros, sodio, magnesio y nitratos que pueden llegar a duplicar o triplicar los valores admitidos, mientras que los contenidos de calcio y sulfatos están por debajo de la normativa. Los nitritos están ausentes en algunos puntos del acuífero, pero en otros sobrepasan hasta 8 veces el máximo exigible.

Respecto a la calidad para uso agrícola, aunque es variable según el punto considerado presenta en general un peligro de salinización muy alto y medio de alcalinización, por lo que requieren cultivos seleccionados al respecto, en suelos permeables, con buen drenaje y con exceso de agua para producir un buen lavado.

Por otra parte, al ser aguas con contenidos medios y altos en sodio, además de lo anterior puede ser preciso utilizar tratamientos correctores para no alcanzar un límite de toxicidad de sodio intercambiable.

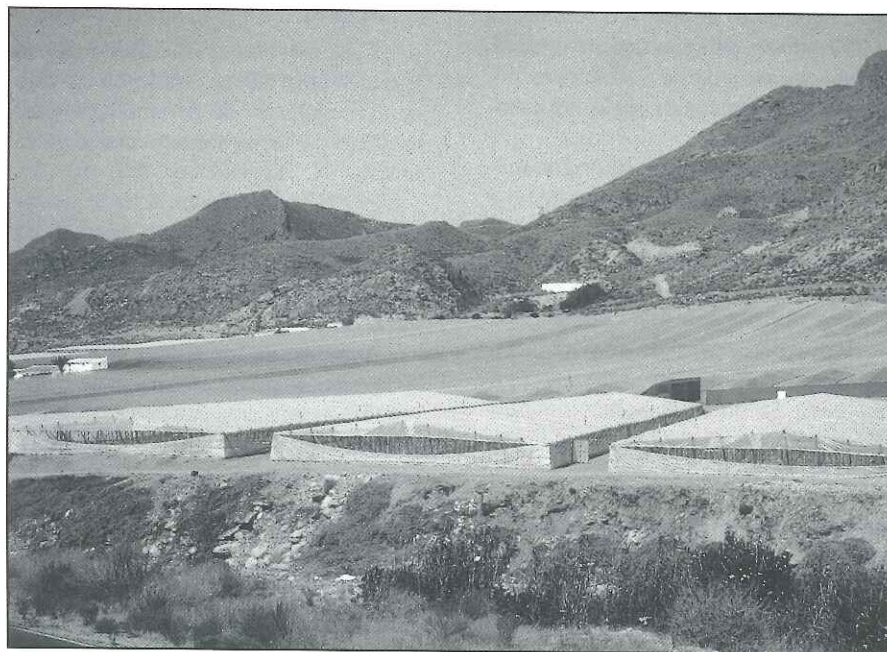


Figura3.-Superficie cultivada cubierta de plásticos del Campo de Dalías.

Acuífero de Balanegra

El 95 % de las muestras tomadas en este acuífero pueden ser clasificadas como químicamente tolerables o aproximarse bastante a los límites de potabilidad, los nitritos no sobrepasan el límite legal en ningún punto y la media del contenido en nitratos de todos los puntos tampoco. Para uso agrícola el agua de este acuífero conlleva unos riesgos de salinización altos en general y de alcalinización bajos a medios, son aguas relativamente salinas por lo que habría que tomar las mismas precauciones que para el acuífero de Balerna-Las Marinas, aunque en este caso existen escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio admisible.

Acuífero de Aguadulce

El 75 % de las muestras de este acuífero rebasan los límites de tolerabilidad química para consumo humano. La conductividad eléctrica y las concentraciones de cloruros y sodio duplican los respectivos límites máximos, y aunque en menor proporción, el magnesio rebasa también su límite.

Sulfatos, calcio, nitratos y nitritos registran concentraciones medias por debajo de sus límites. La calidad para uso agrícola es bastante variable, según los puntos, pero en general presentan un riesgo de salinización muy alto y un riesgo de alcalinización medio, por lo que requieren las mismas

restricciones respecto a los cultivos especificados para el acuífero de Balerna.

Contaminación

Si definimos contaminación del agua como las modificaciones en sus propiedades físicas, químicas o biológicas como consecuencia de las actividades humanas que den como resultado la inutilización del agua para el fin al que estaba destinada, en esta definición se hace énfasis en la necesidad de que el deterioro de la calidad sea debido a causas antrópicas y que en consecuencia sea una influencia directa sobre la aplicación útil del agua.

Las fuentes de contaminación en el Campo de Dalías se pueden definir como sigue: Fuentes puntuales:

- Vertederos de residuos sólidos urbanos y agrícolas (plásticos).
- Aguas residuales urbanas e industriales.
- Almacén y transporte de sustancias tóxicas (pesticidas, abonos, etc.).

Fuentes extensas:

- Actividades agrícolas como la acumulación de residuos vegetales de cada cosecha, abonos, pesticidas, etc.
 - Intrusión marina (derivada de una incorrecta gestión de los recursos).
- Como agentes contaminantes ligados a estas fuentes, tendríamos:

- Detergentes, materia orgánica, nitratos, nitritos, amonio, microorga-

nismos patógenos ligados a las aguas residuales.

- Metales tóxicos pesados, aceites, grasas ligadas al almacenamiento.
- Abonos nitrogenados y pesticidas procedentes de las actividades agrícolas. ClNa ligado a la intrusión marina.

Contaminación marina

De todas estas fuentes, la de mayor impacto según Pulido Bosch, en el Campo de Dalías es la intrusión marina, dado que un 5 % de agua salada en la mezcla con agua dulce hace prácticamente inutilizable el agua del acuífero. Su efecto más nocivo se manifiesta en la agricultura, pues produce la muerte de las plantas.

Las condiciones para poder producirse intrusión marina se manifestaron a partir de 1980 en que en algunos sectores se bombeó excesivamente, originando conoides en los que el nivel piezométrico estival se encontraba bajo el nivel del mar, sin que se tuviera constancia en ningún caso de aparición de contenidos salinos elevados.

A partir de ese año se suceden y se acentúan las situaciones de inversión de gradiente en las Unidades de Balanegra y Aguadulce.

Determinadas acciones locales, como la concentración de bombeos en el sector de Aguadulce, con ubicación de unas captaciones de abastecimiento a Almería, por ejemplo, han tenido una inmediata influencia en el avance de la cuña salina.

En la unidad de Balanegra el avance de la cuña salina es mucho más lento debido a que la franja litoral está ocupada por materiales metapolíticos y la intrusión marina sólo es factible a través de una estrecha franja.

Una campaña de sondeos eléctricos verticales permitió a Pulido Bosch estimar la geometría del contacto agua dulce-agua salobre, detectándose en el acuífero de Aguadulce la existencia de conos salinos relacionados con fuertes extracciones puntuales.

Las relaciones iónicas ofrecen resultados similares en el acuífero de Balanegra, a pesar de estar sometido a sobreexplotación y estar el nivel piezométrico por debajo del nivel del mar en amplias áreas, la intrusión marina se restringe a una estrecha franja costera, mientras que en el acuífero de Aguadulce se confirmó la existencia de conos salinos.

Contaminación agrícola

Para rentabilizar y hacer competitivas las cosechas se lleva a cabo un intenso abonado y uso elevado de pesticidas. El abonado con estiércol produce una contaminación de nitratos, y la liberación de CO_2 por oxidación de la materia orgánica provoca un aumento de dureza y alcalinidad del agua de infiltración por abonos artificiales, también producen un aumento de nitratos. Los valores elevados de NO_3^- en las aguas constituyen un grave peligro para el consumo humano ya que pueden producir cáncer y cianosis. El contenido de NO_3^- de las aguas más elevado se da allí donde la actividad agrícola es más intensa.

Residuos líquidos urbanos

Salvo los núcleos importantes de población que tienen alcantarillado, en el resto los residuos líquidos urbanos que se generan en el Campo de Dalías van a parar a fosas sépticas o pozos negros, que de un modo u otro permiten que el agua residual se infiltre en el terreno.

Residuos sólidos urbanos

En el Campo de Dalías hay dos vertederos importantes. El del municipio de Roquetas de Mar, está situado en calizas y dolomías del Trias lo que supone una ubicación inadecuada, ya que son materiales permeables. La Agencia de Medio Ambiente ha elaborado un proyecto para el traslado del punto de vertido unos dos kilómetros al oeste en las filitas alpujárrides. El vertedero de El Ejido se ubica sobre las calizas y dolomías alpujárrides del Manto de Gádor por lo que tampoco es correcta su ubicación. Hay un proyecto de nueva instalación de vertido al norte de Matagorda sobre limos cuyo comportamiento hidrogeológico es de acuitado. Aparte de estos dos vertederos, constantemente se observa sobre el campo la existencia de plásticos, restos vegetales, embalajes, que son quemados produciendo humos y residuos tóxicos.

Discusión del Plan Hidrológico

El espectacular desarrollo del Campo de Dalías se ha producido en una cuenca hidrológica, la del Sur, caracterizada por una ausencia total o casi total de planes reguladores.

Es cierto que los enarenados bajo plástico son el motor económico de la zona, pero a un coste medioambiental y social muy elevado, el primero de tan vastas proporciones que ha puesto en grave peligro, por contaminación y agotamiento, el recurso agua, pieza clave y fundamental de este desarrollo.

Por ello el *Plan Hidrológico de la Cuenca del Sur* (1988), se enfrenta a dos objetivos antagónicos y prácticamente irreconciliables en Campo de Dalías: preservación del recurso y del medio natural y abastecimiento de agua suficiente para los regadíos, con objeto de no frenar una actividad económica rentable.

El sistema de cultivos mediante enarenados es un sistema caro, que necesita mucha mano de obra y grandes inversiones, acompañadas de tecnología. Aunque se han implementado algunas técnicas de riego modernas, las necesidades hídricas son elevadas y la dedicación por parte del agricultor y su familia, incluidos niños en edad escolar, es importante.

Tanto en la *Documentación Base* (1988) como en el *Proyecto de directrices de la Cuenca del Sur* (1993) se reconocen y recogen los problemas medioambientales y la necesidad de una gestión racional del recurso. Uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la zona son los problemas de intrusión marina por sobreexplotación de acuíferos, pero no hay que olvidar otros como la contaminación por vertidos sólidos y líquidos, que producen graves riesgos de contaminación de aguas, deterioro del paisaje, malos olores, humos malolientes producidos por combustión incompleta de los residuos, incendios, presencia de roedores e insectos, potenciales transmisores de enfermedades, etc.

Además, según ICONA (1991), la pérdida media de suelos por la erosión en el ámbito de la Cuenca Sur se sitúa en 50 Tm/Ha/año, lo cual provoca la degradación de la cubierta vegetal. La tendencia a esta pérdida de biodiversidad de la vegetación se manifiesta de forma continuada a partir de la Edad del Bronce o Cultura del Argar, debido a la deforestación causada por el Hombre en esta zona, ya que la vegetación del área hace tres milenios estaba compuesta por bosques mixtos, y por una gran variedad de plantas de sotobosque y herbáceas, según los análisis polínicos efectuados por Mariscal (1992, 1993). Por ello, sería conveniente un

proyecto de reforestación a largo plazo, partiendo de especies que puedan adaptarse a las condiciones climáticas actuales.

Los acuíferos de El Campo de Dalías están declarados provisionalmente sobreexplotados, por la *Ley de Aguas* (1985) artículo 54. En la *Documentación Base* se recoge la proclamación de la *Carta del Agua* del Consejo de Europa, y objetivos generales del *Plan hidrológico de la Cuenca del Sur*, pero son un conjunto de buenas intenciones.

Se reconoce también la existencia de una red de control deficiente, la necesidad de un conocimiento más profundo del funcionamiento hidrológico de la cuenca y de una actualización de las bases de datos de concesiones, así como promoción de medidas de ahorro y de rentabilización de aguas depuradas.

Sin embargo, antes de acometer estos estudios, el *Plan* tiene como objetivo abastecer de agua suficiente al Campo de Dalías, para no estrangular su desarrollo y para ello propone trasvasar agua de otros lugares.

En este contexto se encuentra la Resolución General de Obras Hidráulicas, aparecida en el B.O.E. (1993), en la que se adjudican las obras de explotación del embalse de Benimar para riego del Campo de Dalías.

Si bien es verdad que el *Plan* no prevé un aumento de la demanda de agua para el Campo, también lo es, que para la gestión hidrológica parte del supuesto de que las explotaciones son rentables y competitivas, por lo que consideran necesario mantenerlas. Sin embargo, se soslaya el hecho de las repercusiones sociales que el desarrollo ha tenido en la zona. La riqueza derivada de las explotaciones ha provocado el aumento del consumo y actividad financiera, pero no ha sido acompañada, en muchos casos, por un aumento del bienestar social o calidad de vida.

En el Municipio de El Ejido, según el Director-conservador del Parque Natural de Cabo de Gata, comunicación oral, los problemas de escolarización son importantes, la falta de asistencia a las aulas por el trabajo en el campo es penoso, las enfermedades respiratorias, dermatológicas, etc., son frecuentes, debido al contacto directo con pesticidas y al aumento de la presión demográfica ha propiciado un desarrollo urbanísti-

co acelerado y caótico. Todo ello pudiera ser la causa por la que el índice de suicidios, en la zona, es de los más elevados de España.

Por otro lado los problemas medioambientales, que como ya se ha indicado son de envergadura suficiente como para poner en peligro la propia subsistencia del modelo de explotación, no van a solucionarse con el trasvase de aguas de otras zonas o la recarga artificial de acuíferos con aguas depuradas, para frenar la intrusión marina. Teniendo en cuenta además, que cualquier variable natural es de respuesta compleja, parece arriesgado aventurar soluciones que aparentemente retarden momentáneamente un proceso de degradación acelerada del medio, pero que sin duda abran nuevos procesos de contaminación y deterioro en otras zonas.

Conclusiones

El *Plan Hidrológico nacional*, con una inversión de 3 billones propone el trasvase de más de 4.000 hectómetros cúbicos para paliar la falta de agua en el Sur y combatir el agotamiento, salinización y contaminación de los acuíferos en la zona de recepción del Campo de Dalías, entre otros, e impulsar nuevos regadíos.

Soslayan ocultar las enormes pérdidas del recurso hídrico, que se están produciendo y que se incrementarán en las áreas de destino de los trasvases, y la ampliación de las hectáreas de regadío que el Plan en su conjunto prevé.

No considera el potencial impacto ambiental que estas medidas producirían, en origen en los embalses, en el trayecto de las grandes conducciones y en destino, impactos sobre el territorio y el suelo a causa de los planes de regadío y técnicas agrícolas.

El objetivo fundamental del Plan es conseguir el equilibrio hidráulico, ajustar los recursos hídricos con un nuevo reparto entre la zona Norte de la península, excedentaria en agua, y que coincide con una competencia agraria con la CE, y la zona Sur o arco Mediterráneo donde se pueden desarrollar más los cultivos de agricultura intensiva en regadíos, que por diversos factores no es causa conflictiva con los excedentes de producción europea. Con lo que el reequilibrio hidráulico ocasionará un desequilibrio territorial intenso.

Se ha declarado que las aguas subterráneas del Campo de Dalías están sobreexplotadas, pero no se ha impuesto una normativa u ordenación de las extracciones en los acuíferos, para lograr una explotación más racional, con lo que se está conculcando la legislación administrativa, *Ley de aguas* de 1985, Artículo 54 y Real Decreto: 26-18-86.

No se han determinado perímetros de protección, según establece la ley, sino que tampoco se han tomado medidas para terminar con las docenas de miles de plaguicidas, fertilizantes, etc., que según la Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1991), se utilizan en la zona de Campo de Dalías al año.

Si un acuífero es de dominio público se debería racionalizar el uso del agua, como un bien escaso, de no tener esto en cuenta, se produce la gran paradoja de que cuanto más se extienden los cultivos mayor es la pérdida y potencialidad biológica-productiva del territorio, lo que es lo mismo que indicar que se tiende a una clara desertificación, causada por la aridez del clima, por la sequía y por las actividades antrópicas.

La degradación del suelo y su contaminación, es también causa de desertificación, los procesos físicos, erosión, costras, químicos: salinización, sodificación, lixiviación y acidificación, biológicos: reducción de materia orgánica, disminución de actividad biológica, etc., así como los factores naturales climáticos: aridez, torrencialidad de lluvias, edáficos: erosión de suelos y antrópicos, riego con aguas de alto contenido salino, monocultivos intensivos, uso de agroquímicos, etc., causan la pérdida de las características del medio.

El estilo de vida desarrollista, trae consigo la sobreexplotación de unos acuíferos en decenas de años, acuíferos que tardaron en formarse miles de años y que representan una riqueza ecológica.

Las soluciones a los problemas ambientales dependen de decisiones de tipo socio-político y económico, pero estas decisiones deberían considerarse con criterios objetivos, y con datos técnicos, basados en *Investigación Medio-ambiental*.

Los procesos de sobreexplotación, salinización y contaminación, que han sido estudiados de forma sistemática por diversos organismos Científicos,

Técnicos y Universidades, no deben ser considerados como una consecuencia inevitable del *Desarrollo Económico* sino que se debe implantar una estrategia de conservación con un significado claro de *Desarrollo sostenible* y *continuado* a lo largo del tiempo, optimizando al máximo el recurso agua y el recurso suelo.

Se debe *Gestionar* los recursos naturales desde ópticas más amplias, que las de simple utilidad-beneficio, teniendo en cuenta que los costes ambientales de la degradación de la calidad del agua y del suelo van más allá del valor del terreno y de una rentabilidad a corto plazo de tiempo.

Así mismo se debería tender hacia una mayor eficacia en los sistemas de abastecimiento del agua a poblaciones, limitándose al máximo las pérdidas globales en conducciones y redes de distribución de agua. ■

Referencias bibliográficas

- B.O.E. (1993). N.º 41: 2.334.
- FERNANDEZ DURAN, R. (1993). Desequilibrio territorial y fragilidad del recurso agua. El Plan Hidrológico Nacional. «El País» 5/1.
- I.G.M.E. (1988). El Agua Subterránea en Andalucía. I.G.M.E. Madrid 71 p.
- LEGISLACION DE AGUAS. (1985).
- LOPEZ VERA, F. (1981). Posibilidades de la utilización de técnicas isotópicas en las aguas subterráneas de Andalucía. SIAGA, I: 319-335. Universidad de Granada.
- MARISCAL, B. (1992). Fluctuación climática y variación de la vegetación durante el período Subboreal. Análisis polínico del Cerro de las Cuartillas, Mojácar (Almería). *Boletín Geológico y minero*. V. 102-4: 68-73.
- MARISCAL, B. (1993). Fluctuación climática y actividad antrópica durante el Subboreal. Estudio polínico de Almizaraque, Herrerías. (Almería). *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 104-1: 58-64.
- PADILLA, A. (1988). El programa APARAP para la interpretación automática de Sondeos Eléctricos Verticales. Dpto. Geodinámica Universidad Granada. (Inédito).
- PLAN HIDROLOGICO. Conferencia Hidrográfica del Sur. Documentación Básica. N.º PU. (1988).
- PROYECTO DE DIRECTRICES DE LA CUENCA DEL SUR (1993). Confederación Hidrográfica del Sur. Oficina de Planificación Hidrológica.
- PULIDO BOSCH, A. (1989). *Caracterización Hidroquímica del Campo de Dalías (Almería)*.

GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA E INGENIERIA GEOLOGICA



Jordi Corominas

Doctor Ciencias Geológicas. Catedrático de Ingeniería Geológica. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Director de Estudios del Graduado Superior en Ingeniería Geológica (Título propio UB-UPC).

Las actividades relacionadas con la Ingeniería Geológica en nuestro país han experimentado un notable incremento a lo largo de los últimos años. Sin embargo, bajo este epígrafe se han mezclado dos conceptos distintos. En el presente artículo se analizan las diferencias y similitudes entre la Geología aplicada a la Ingeniería y la Ingeniería Geológica.

Last years, the activities concerning to Geological Engineering in Spain have shown a marked increase. However below this heading two different concepts have been included. In this paper, the differences and similarities between Geological Engineering and Engineering Geology are analyzed.

En los últimos años se ha producido un incremento notable de la presencia de la Ingeniería Geológica en nuestro país. Aparece como tema específico en las sucesivas ediciones del Congreso Geológico de España mientras que en 1991 tuvo lugar I Bienal de Ingeniería Geológica en Madrid. La Universidad Complutense de Madrid imparte un Máster en Ingeniería Geológica y la Universidad Politécnica de Madrid un Máster de Ingeniería Geológica y Ambiental. En 1990, la Universidad de Barcelona y la Universidad Politécnica de Cataluña acordaron la creación del Graduado Superior en Ingeniería Geológica, título

lo propio de ambas universidades con una duración de 5 años. Esta explosión de actividades pone de manifiesto que se trata de un ámbito científico-técnico y profesional que no se había desarrollado suficientemente pero que dispone de un gran interés potencial.

Por otro lado, es constatable que el concepto de Ingeniería Geológica no es entendido de la misma manera por todo el mundo, ni en su propia denominación ni en sus contenidos. En los países anglosajones, separan netamente los conceptos de *Engineering Geology* del de *Geological Engineering*, es decir, la Geología Ingenieril (Geología aplicada a la Ingeniería) de

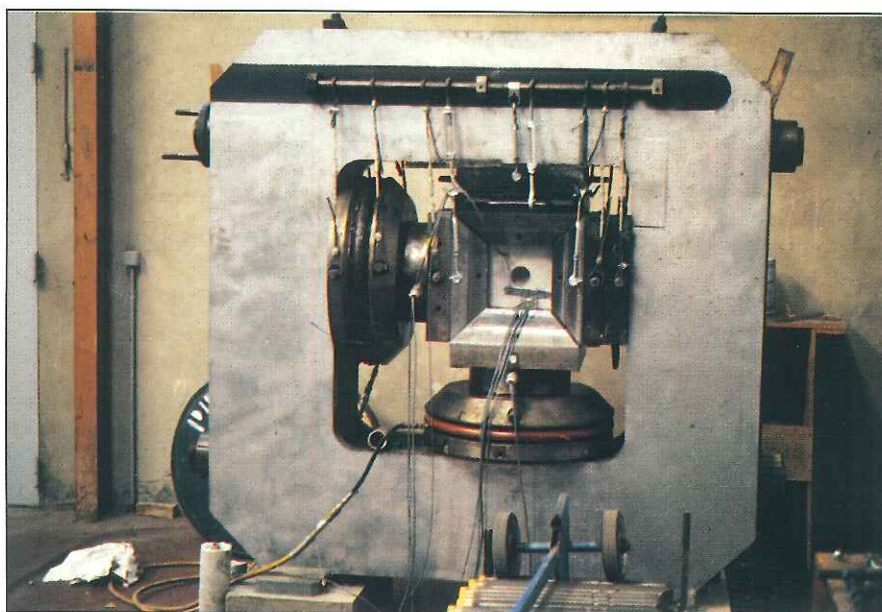


Figura 1.-Ensayo de compresión biaxial en roca.

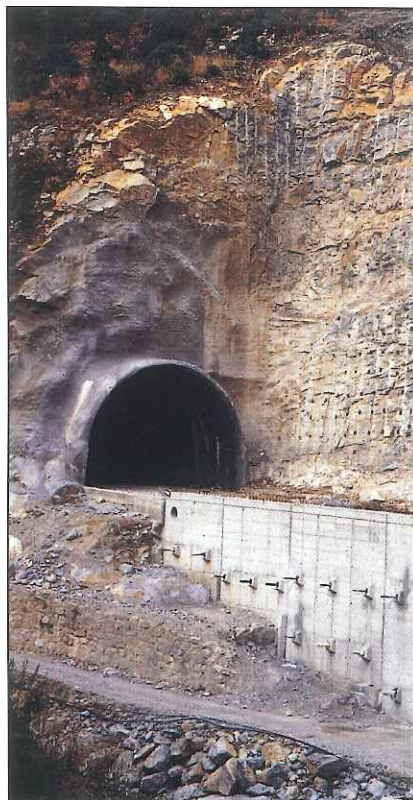


Figura 2.—Protección del emboquille del túnel de Sant Josep en el eje viario del río Llobregat en Barcelona. Los desmontes han sido reforzados mediante bulonado y la plataforma de la carretera ha sido protegida de la erosión de las avenidas mediante un muro anclado y escollera en la base.

la Ingeniería Geológica. Si bien existe un notable solapamiento profesional, la primera corresponde a una ciencia mientras que la última corresponde a una tecnología. En nuestro país ambos conceptos suelen utilizarse bajo la exclusiva denominación de Ingeniería Geológica, con la consiguiente confusión.

En los últimos lustros la formación del geólogo en el campo de la Geología aplicada a la Ingeniería ha sido insuficiente y en lo que se refiere a la Ingeniería Geológica, prácticamente nula. En la década de los años setenta, se reivindicó por parte del colectivo profesional y académico, el papel del geólogo dentro de la ley de Minas y los proyectos de la Ley de Aguas, sobre todo en lo relativo a la prospección de los recursos minerales, petróleo y agua. No obstante, sólo los recursos minerales han tenido una presencia significativa dentro de los planes de estudio que se desarrollaron posteriormente. Otras materias reivin-

dicadas aparecían en el mejor de los casos, como materias optativas. Este es el caso de asignaturas como la Prospección Geofísica, Hidrogeología, Geotecnia, Geología Ambiental, por citar algunas de ellas.

Paralelamente, y a pesar de este déficit formativo, la presencia de los geólogos en el campo de la hidrología subterránea, el medio ambiente y las obras públicas, ha ido en aumento. Precisamente, el contacto del geólogo con los profesionales de la ingeniería (Civil y de Minas) ha sido uno de los motivos para que se entendiera su actividad como perteneciente a la Ingeniería Geológica, cuando en realidad se encontraba aplicando sus conocimientos geológicos para los fines de la Ingeniería. Dearman (1971), definió la Geología aplicada a la Ingeniería como la ciencia o disciplina de la Geología aplicada al diseño, construcción y ejecución de estructuras ingenieriles en y sobre el terreno. El mismo Dearman dejó claro que la Geología aplicada a la Ingeniería no es un tipo especial de Geología, sino que cubre todo el espectro de esta Ciencia. Por su parte el American Geological Institute la define como la aplicación de las ciencias geológicas a la práctica ingenieril, con el objetivo de asegurar que los parámetros geológicos que afectan la localización, diseño, construcción y mantenimiento de las obras de ingeniería sean reconocidos y proporcio-

nados adecuadamente. Se trata pues del uso de las disciplinas geológicas más que una nueva ciencia. Quizás lo que más caracteriza a la Geología aplicada a la Ingeniería respecto a la Geología clásica son las herramientas utilizadas, aunque no es más que una falsa diferencia. En efecto, las técnicas utilizadas son muy diversas: sensores remotos, prospección geofísica, ejecución de sondeos y ensayos sobre el terreno, entre otras, pero no son exclusivas de la Geología aplicada. Sí lo son, en cambio, los criterios para su utilización, interpretación y aplicación.

El ingeniero geólogo no responde a este perfil. La Ingeniería comporta el arte de aplicar los conocimientos científicos a la técnica. El producto de un ingeniero geólogo será normalmente un proyecto que, entre otras consideraciones, preverá, el comportamiento futuro del terreno, el diseño constructivo, la concatenación de trabajos y su valoración económica. Toda ingeniería requiere una formación físico-matemática muy potente que le permita abordar las materias básicas de la tecnología: la mecánica de los medios continuos, mecánica de fluidos, mecánica de suelos y rocas, resistencia de materiales, hidráulica. Al ingeniero geólogo esta formación básica debe permitirle comprender los fundamentos físicos de los fenómenos naturales (transporte de sólidos, de solutos, ...) así como la confección de modelos sobre los cuales efectuar predicciones de

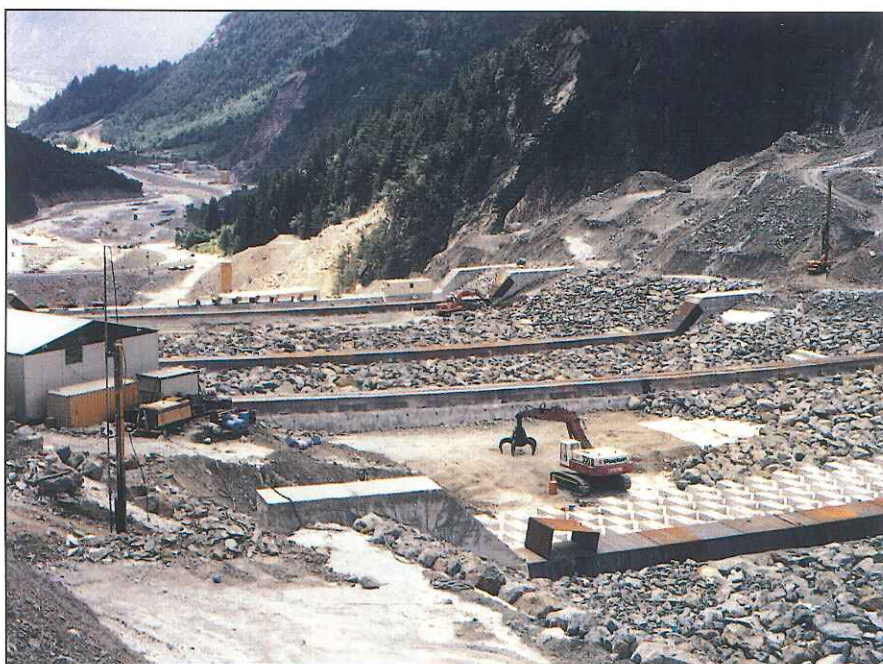


Figura 3.—Disipador de energía ante posibles corrientes y aludes de derrubios en Val Pola, Alpes italianos.

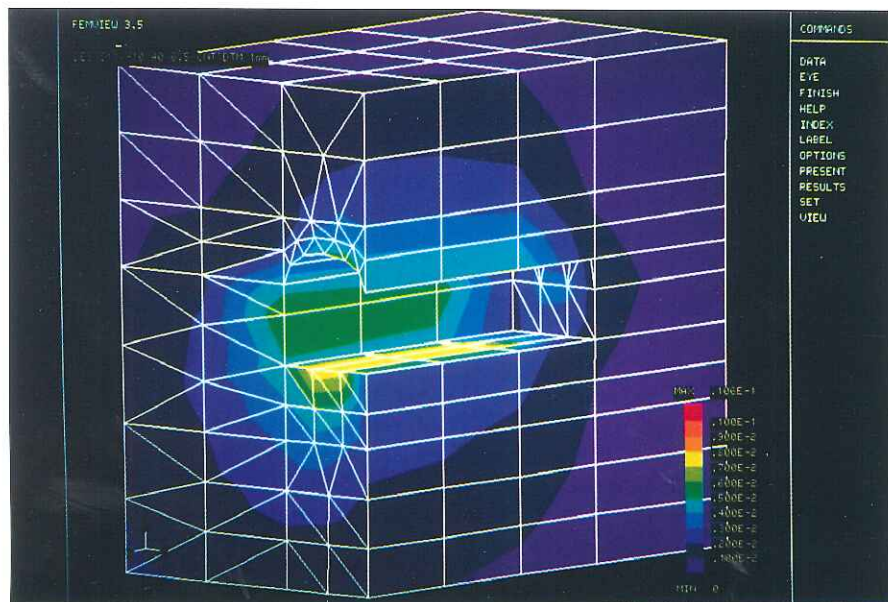


Figura 4.-Modelización mediante el Método de los Elementos Finitos de las deformaciones producidas por la excavación de un túnel de ferrocarril en Terrassa (Barcelona).

comportamiento y diseñar las actuaciones. Este campo ignorado en la formación de los geólogos, sólo ha sido parcialmente cubierto en la formación de los ingenieros que más tienen que ver con el terreno: los ingenieros civiles y de minas. Los primeros han tenido que hacer frente a una diversificación de su actividad, a un diseño estructural cada vez más exigente, al urbanismo y la planificación de infraestructuras, y a la ingeniería ambiental. Aunque su base en tecnología geotécnica está muy desarrollada, su conocimiento del medio físico y de los procesos naturales es insuficiente. La ingeniería de minas en la especialidad del terreno, su vocación está muy ligada al reconocimiento y explotación de los recursos naturales.

El ingeniero geólogo es un ingeniero especialista que intenta desarrollar el cada vez más complejo mundo de actuaciones sobre el terreno. Debe ser capaz de establecer modelos de comportamiento del terreno y las soluciones constructivas a los proyectos cada vez más atrevidos de la ingeniería (estabilidad de grandes cavidades subterráneas, construcción sobre terrenos de mala calidad ...). Debe entender, predecir y actuar frente a la dinámica del medio natural y en concreto, los riesgos naturales: predicción sísmica e interacción suelo-estructura, la previsión, control y corrección frente a corrimientos de tierras colapsos e inundaciones. Debe hacer frente a las consecuencias de los impactos de las actividades humanas

en el medio físico natural (transporte de contaminantes en medios saturados y no saturados, flujos acoplados de materia-energía-deformación), analizar el comportamiento del terreno en condiciones extremas (almacenamiento subterráneo de residuos de alta actividad, ...), mejora y corrección del terreno, comportamiento de rellenos, escombreras y residuos, entre otros. En resumen, el ingeniero geólogo debe dominar el conocimiento de los materiales terrestres y los procesos naturales; obtener datos mediante las diversas técnicas

de reconocimiento y ensayo; ser capaz de cuantificar, modelar y predecir, y por último, proyectar y dirigir los trabajos de ingeniería.

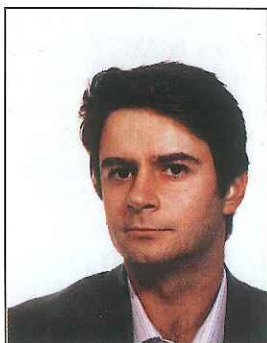
En algunos países de la OCDE existen títulos de ingeniero geólogo. Son destacables los de Francia con su Escuela Nacional de Geología de Nancy, Canadá y los Estados Unidos, éstos con 17 universidades que ofrecen programas en Ingeniería Geológica, reconocidos por la ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). En España, como se ha indicado, desde el curso 1990-91 se imparte en Barcelona el título de Graduado Superior en Ingeniería Geológica.

¿Son compatibles la Geología aplicada a la Ingeniería y la Ingeniería Geológica? A mi entender la respuesta es afirmativa. Es imprescindible acercar al geólogo al mundo profesional de las ingenierías, que sea capaz de entender las necesidades de las mismas y, consecuentemente, desarrollar y profundizar los conocimientos que sean necesarios en el campo de las ciencias geológicas. Ter-Stepanian (1985) establece las funciones entre el Geólogo ingenieril y el Ingeniero. Básicamente el geólogo debe describir, advertir y explicar, mientras que la misión del ingeniero sería la de diseñar, decidir y hacerse responsable del proyecto. En la medida que ambos profesionales consigan un lenguaje común, se evitarán omisiones, la colaboración será más eficaz y se cubrirá un hueco que era una necesidad histórica. ■



Figura 5.-Trabajos de cubrición de los residuos y de acondicionamiento del vertedero controlado de Meruelo (Santander).

LA RUTA DEL HOMBRE EN LA COMUNIDAD DE MADRID



Alfonso Arribas Herrera

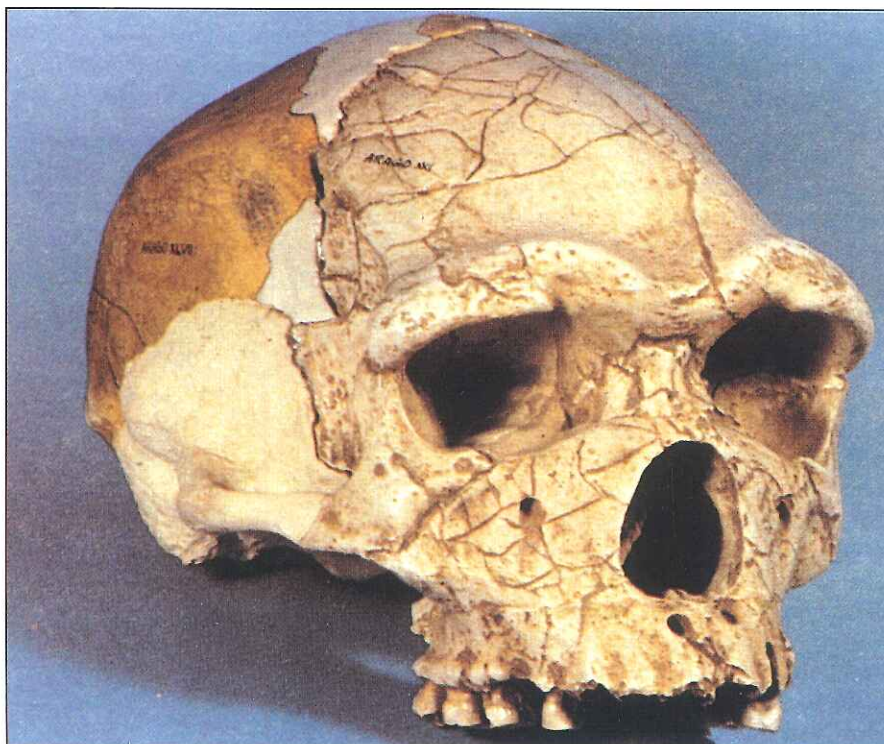
Licenciado en Ciencias Geológicas (Especialidad de Paleontología) por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1989 colabora en diversos Proyectos de Investigación sobre Paleontología y Paleoantropología de yacimientos continentales cuaternarios. En 1992 se incorpora al Departamento de Paleobiología del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid, donde realiza su Tesis Doctoral sobre Tafonomía y Paleoecología del Plio-Pleistoceno continental peninsular. Es director del Proyecto de Investigación (Paleontología y Paleoantropología) de la Cueva de los Torrejones (Complejo Kárstico de Tamajón, Guadalajara), subvencionado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

La Comunidad de Madrid es uno de esos territorios privilegiados de la Península Ibérica que poseen registro paleontológico de buena parte del Cuaternario, tanto en depósitos kársticos como en fluviales. En este artículo se realiza un breve recorrido por la geografía madrileña, utilizando como hilo argumental la presencia de yacimientos paleontológicos y arqueológicos notables, enclaves que han aportado información científica esencial para el conocimiento de los modos y usos humanos pretéritos y del medio físico y biológico en el que estos homínidos se desarrollaron.

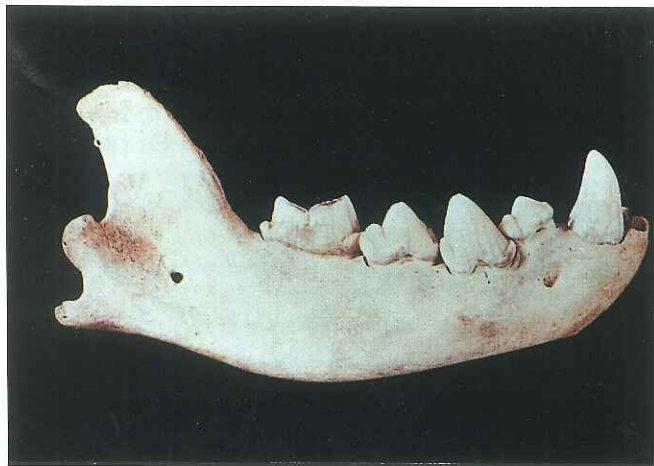
The Comunidad de Madrid is one of those privileged regions in the Iberian Peninsula which possess paleontological record from most of the Quaternary, both in karstic and fluvial deposits. In this paper a brief journey is made along Madrid's geography, following the track of some remarkable paleontological and archaeological sites, which have provided us with essential scientific information on the ways and habits of ancient human being, and on the biological and physical environment in which they developed.

En la actualidad la vida de los hombres se encuentra inexorablemente vinculada a las ciudades, centros culturales en los que la masificación, la falta de comunicación y la aplicación y uso de nuevas tecno-

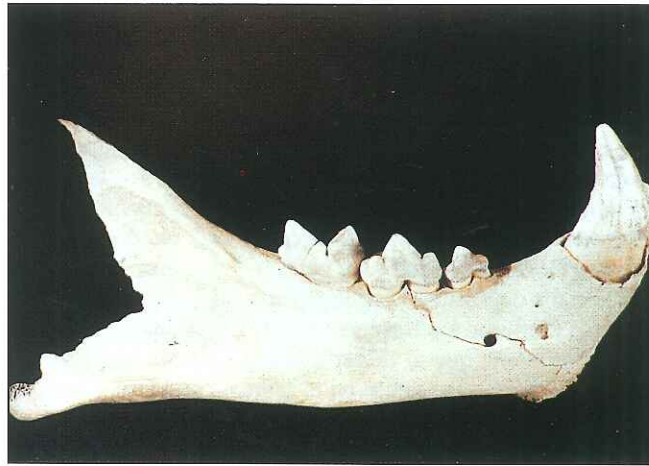
logías, que apenas llegamos a comprender, han convertido a los seres humanos en meros espectadores del presente. Este ritmo de vida en pocas ocasiones nos deja el tiempo suficiente y el estado de ánimo necesario para



Cráneo de *Homo sapiens* ssp. primitivo (anteneandertal de 450.000 años de antigüedad) de Tautavel (Francia). Foto: J. F. Lapeyre.



Mandíbula derecha de la hiena de las cavernas característica del Pleistoceno superior europeo (*Crocota crocuta spelaea*) (E: 2/3). Foto: K. Drábek.



Mandíbula derecha del león de las cavernas (*pantera (Leo) fossilis spalaea*), que habitó en Europa central y occidental durante gran parte del Pleistoceno (E: 1/2). Foto: K. Drábek.

preguntarnos sobre nuestros orígenes, sin saber que cuando paseamos por las riberas del Manzanares o del Jarama o cuando vamos a disfrutar de un día de campo al Valle del Lozoya estamos a pocos metros o incluso en ocasiones encima de los lugares en los que nuestros antepasados, los primitivos seres humanos, subsistieron y murieron, en los campos en los que dejaron los restos y las señales de su paso por la tierra hace cientos de miles de años.

Fósiles y Paleontología

Madrid, la ciudad y su provincia, es una de las pocas regiones de España que posee parte del registro estratigráfico de los remotos períodos de ocupación humana de la Península Ibérica. La lectura de este libro de páginas pétreas puede llevarse a cabo a través del estudio de los *fósiles*, es decir, los restos de los organismos que vivieron sobre la tierra y que se han conservado en el transcurso de los tiempos geológicos formando parte de las rocas sedimentarias.

La ciencia que se ocupa del estudio de los *fósiles* es la *Paleontología*, que analiza en detalle sus estructuras y busca una interpretación lógica a las diversas particularidades que nos ofrecen, a la luz de lo que observamos en los animales y vegetales actuales. De esta forma los *fósiles* nos ofrecen la información sobre la evolución de la vida desde su origen hace 3.500 Ma, con las primitivas formas unicelulares del Proterozoico, hasta los tiempos históricos. El primer hombre fósil, cuyos restos se encuentran en África

Oriental en estratos de hace 2.5 Ma, era perfectamente bípedo y con capacidad de fabricar útiles líticos, esto es, se trata del primer animal con la posibilidad de manipular conscientemente su entorno y modificar el mundo que le rodea, por todo ello ha sido llamado *Homo habilis*. Con el paso del tiempo este homínido extinguido evolucionó y de él surgió una nueva rama en la filogenia humana: el *Homo erectus*, cuyo origen se encuentra de nuevo en África hace aproximadamente 1.5 Ma. Grupos de este homínido primitivo, que poseía mayor capacidad craneal y cultural que el anterior, comenzaron la colonización del planeta durante el *Cuaternario*, en la época denominada *Pleistoceno*, desde hace 1.6 Ma hasta hace 10.000 años. Esto es por lo que se considera al *Cuaternario*, dentro de este contexto evolutivo, como la *Era del Hombre*.

El Cuaternario

Durante el período Cuaternario se produce un cambio en la composición de mamíferos de la tierra con respecto a épocas anteriores. Aparecen y se expanden las especies primitivas antepasadas de los actuales mamíferos africanos, asiáticos y europeos, que se distribuyen por estos continentes migrando con el hombre incluido en el conjunto de la paleocomunidad de mamíferos como una especie biológica más, desde África a Europa, Oriente Medio y Asia (1.8-1.6 Ma), y posteriormente en una segunda migración desde Asia hacia Europa (0.7-0.6 Ma).

Mientras esto ocurría en el mundo animal el clima sufrió grandes cambios, más o menos cíclicos, alternando períodos climáticos fríos de temperaturas extremas durante los que se desarrollaron glaciares en las cotas montañosas más altas, con períodos climáticos benignos en los que las temperaturas fueron elevadas y muy parecidas a las condiciones ambientales actuales del Sistema Central y las Cuencas del Duero y del Tajo. Así se sucedieron en el tiempo cuatro fases glaciares (glaciaciones Günz, Mindel, Riss y Würm) con una duración variable y períodos internos de dulcificación climática (períodos interestadiales), separadas entre sí por tres fases climáticas benignas o períodos interglaciares.

En este marco general, España se sitúa como el país europeo con restos y evidencias directas de presencia humana más antiguas, siendo fundamental en el estudio de estas cuestiones los yacimientos paleontológicos y arqueológicos que existen en las provincias de Granada, Murcia, Burgos y Madrid.

El hombre en Madrid

Para conocer la historia de la ocupación humana en la región de Madrid comenzaremos nuestro viaje hacia el pasado en el Sistema Central. Qué menos que iniciar nuestro recorrido por los antiguos glaciares situados en la Sierra del Guadarrama, en los lugares hoy conocidos por todos como la Laguna de los Pájaros, Laguna Grande, Hoya de Pepe Hernando y Hoyas de Peñalba. Es en estos lugares en los que

durante la última glaciación se acumularon grandes cantidades de nieve y hielo formando verdaderos glaciares de circo y ladera, excavadoras de hielo que modificaron el paisaje, quedando como recuerdo suyo las lagunas formadas por los depósitos morrénicos abandonados en los frentes de circo.

Del Sistema Central y en particular de estos depósitos de agua permanente se nutrieron los torrentes y arroyos de montaña que al llegar a cotas más bajas vertían sus aguas en el seno del río Lozoya, cauce fluvial encajado en un valle tectónico de montaña.

Es aquí donde nos encontramos con el primer centro de ocupación humana de nuestro recorrido. En la cabecera del Embalse de Lozoya, en frente del pueblo de Pinilla del Valle, se sitúa una cueva colapsada hace miles de años. El hundimiento de la visera externa de la cueva permitió la conservación de miles de buenos fósiles pertenecientes a los animales que habitaron en esta comarca durante un período interestadial de la Glaciación Riss (0.2 Ma), caracterizado por un clima templado y húmedo. Dentro de arrecifes coralinos cretácicos litificados tras el paso de millones de años, se desarrollaron cavidades en las que vivieron, antes de la última glaciación, dos grupos de animales bien dispares: hienas y hombres. Las hienas primitivas de las cavernas –*Crocota crocuta intermedia*–, muy abundantes durante el Pleistoceno medio en las proximidades del Sistema Central (Segovia y Madrid), utilizaron la cueva como cubil en el que sacaron adelante sucesivas generaciones de cachorros, quedando como reflejo de ello los fósiles de las hienas adultas e infantiles (grupo en el que la mortandad fue muy elevada), junto con los huesos de los animales que les sirvieron de alimento como son: el uro –*Bos primigenius*–, el ciervo –*Cervus elaphus*–, el jabalí –*Sus scrofa*–, el gamo primitivo –*Dama clactoniana*–, el rinoceronte de pradera –*Stephanorhinus hemitoechus*– y el caballo primitivo –*Equus caballus pinillensis*– (subespecie endémica del Valle de Lozoya). Manadas de estos animales habitaban los bosques y las praderas del valle, de tal forma que eran las presas típicas de los carnívoros de la región: hienas, agrupadas en familias organizadas no sólo para el carroñero, sino también para la caza de grandes piezas; lobos europeos *Canis lupus ssp.*–, lobos asiáticos –*Cuon sp.*–

y leones de las cavernas –*Panthera (Leo) fossilis*– que deambularon por la comarca en grupos reducidos. Con todos ellos convivieron familias de osos pardos primitivos –*Ursus sp. arctoides*– llegados de Asia en la segunda gran migración. En otro momento apareció el hombre primitivo en el valle, grupos de anteneandertales u *Homo sapiens* primitivos, hombres extinguidos de filiación evolutiva aún desconocida. Estos homínidos ocuparon la cueva y los abrigos rocosos del valle durante un largo período de tiempo y abandonaron sobre el suelo de la cueva restos de su actividad predatoria, de su modo de vida y, lo que es más importante, sus propios huesos. Se han encontrado industrias en hueso y piedra que fabricaron para facilitar las tareas domésticas, huesos quemados en los hogares, cráneos de ciervos modificados como recipientes, huesos de los herbívoros que les sirvieron de alimento y junto a todo ello dos dientes humanos de alguno o algunos de los individuos, siendo estos restos los únicos fósiles humanos descubiertos hasta la actualidad en la provincia de Madrid.

Abandonamos el Valle de Lozoya y continuamos nuestro viaje por el curso de los ríos serranos hasta llegar al embalse del Pontón de la Oliva, punto en el que confluyen los ríos Lozoya y Jarama. En este paraje nos encontramos dos yacimientos diferentes. Uno de ellos, el yacimiento del Pontón de la Oliva, está situado en un antiguo depósito fluvial adosado a la pared rocosa. Sus fósiles nos hablan de hace alrededor de 0.7 Ma, al final del Pleistoceno inferior, cuando en esta comarca vivían cérvidos gigantes –*Praemegaceros sp.*– y bóvidos primitivos, además de rinocerontes de pradera, manadas de caballos arcaicos –*Equus stenonis*– hipopótamos –*Hippopotamus amphibius*– en los remansos del río, y cerco-pitécidos representados por grupos de macacos –*Macaca sp.*– y hienas –*Hyena brevirostris*– llegados a la Península Ibérica en la primera gran migración de fauna procedente de África (1.8-1.6 Ma). No se han encontrado en este lugar huesos fósiles humanos ni industrias líticas u óseas asignables a la actividad cultural del hombre.

El otro yacimiento corresponde a tiempos más modernos, se generó durante la última glaciación (Würm) que fue la más rigurosa y fría de todas ellas. Tras recorrer los barrancos y des-

filaderos de la Presa del Atazar llegamos a la Cueva del Reguerillo, famosa por las cercanas de los osos de las cavernas evolucionados –*Ursus spelaeus*– que ha proporcionado. En este período la línea evolutiva humana estaba ya únicamente representada por el extinguido hombre de neandertal –*Homo sapiens neanderthalensis*–, robusto en exceso, con la cara prominente y una capacidad craneal superior a la media humana actual. Esta es la última forma humana desarrollada antes de la aparición del hombre moderno –*Homo sapiens sapiens*– en Europa hace 35.000 años. Poco antes de que esta sustitución entre formas humanas tuviera lugar, esta cueva fue ocupada, hace 40.000 años aproximadamente, durante generaciones por las hembras de los osos de las cavernas, animal grande y robusto adaptado a la vida en las cavidades rocosas, que utilizaba para hibernar, produciéndose el alumbramiento de las crías durante los gélidos inviernos. La última glaciación se caracterizó por unos inviernos de desigual duración, de tal forma, que la actividad metabólica de estos animales quedaba paralizada al efectuarse el gesto de la totalidad de las reservas alimenticias acumuladas para el período de hibernación, originando una elevada mortandad entre las hembras y los recién nacidos.

Proseguimos nuestro recorrido hacia el Sur camino del Tajo, receptor de todas las aguas que enriquecen las tierras madrileñas, siguiendo el tortuoso trazado del río Jarama, hasta aquí río joven y excavador, a partir de ahora río maduro y acumulador de tierras. Poco aporta a nuestro relato hasta su confluencia con el río Manzanares, cerca ya de Rivas Vaciamadrid. A partir de este punto ya se ven claramente las terrazas fluviales, es decir, las acumulaciones de gravas, arenas y arcillas producidas por el río a lo largo de su evolución en el espacio y en el tiempo, que se distribuyen escalonadamente en distintas cotas topográficas por encima del curso fluvial actual. La sucesión en el tiempo de fases frías y templadas o cálidas, hielo y deshielo, erosión y sedimentación es lo que ha dado lugar al encajamiento de los ríos y al desarrollo de las numerosas terrazas fluviales existentes en los valles del Henares (hasta veinte), Jarama y Manzanares (como mínimo seis), siendo más antiguas cuanto más alejadas topográficamente se encuentran del curso ribereño



Cráneo en norma lateral izquierda de oso de las cavernas evolucionado (*Ursus spelaeus*) (E: 1/4). Restos fósiles de este animal aparecen con regularidad en los depósitos cársticos de la Península Ibérica. Foto: K. Drábek.

actual. Son las llanuras de inundación, actualmente utilizadas como campos de cultivo, los lugares en los que los animales y hombres primitivos realizaron parte de sus actividades vitales, quedando los restos óseos y las evidencias culturales abandonados sobre el substrato que los mantuvo.

Ya en el siglo pasado los científicos se dieron cuenta de estas cuestiones. Allá por el año 1864 don Casiano del Prado observó que el *diluvium* en el río Manzanares no se hallaba sólo en el fondo del valle sino también 20, 30 y aún 40 metros más arriba. Dos años antes se efectuaron los primeros descubrimientos de industrias líticas en el Cerro de San Isidro y desde entonces no han cesado de aparecer utensilios que prueban que el hombre vivió en las orillas de este río hace más de 0.2 Ma. La terraza de San Isidro fue, pues, descubierta en el año 1862 y aunque hoy ha desaparecido bajo el crecimiento urbano, al igual que otros muchos yacimientos dispersos por la geografía regional, fue estudiada y su material fósil y lítico extraído y preservado en los museos madrileños como el Museo Municipal de La Fuente del Berro y el Museo Arqueológico Nacional. Sabemos que esta terraza se encontraba a 40 metros por encima del curso actual del río, siendo los niveles más ricos en vestigios paleontológicos los de gravas inferiores, en los que se encontraron útiles del Período Cultural

Achelense y fósiles de elefante antiguo —*Elephas antiquus*—, bóvidos, caballo y ciervo. En la época de su descubrimiento se realizó un corte estratigráfico del depósito, único en su género, que fue expuesto en el Primer Congreso Internacional de Prehistoria de Copenhague en el año 1869. Por suerte para los amantes de la historia de la ciencia dicho corte se ha conservado hasta nuestros días en el Museo Arqueológico Nacional.

Los estudios realizados en los últimos años, basados en estos fondos museísticos, han permitido deducir un clima cálido a partir de la fauna y una edad limitada al Riss obtenida de la industria lítica recogida en dicho lugar. Por lo tanto la terraza de San Isidro guardó en su seno parte de la historia de la vida en este valle hace aproximadamente 0.2 Ma.

El método de excavación del siglo XIX no fue excesivamente riguroso, por lo que se ha perdido mucha información sobre el período prehistórico que representa este yacimiento. A pesar de ello es digno de elogio el simple hecho de que se dieran cuenta estos aventajados prehistoriadores de lo que era una terraza fluvial, lo que significaban los fósiles y las industrias y de lo antigua que podía ser la presencia del hombre sobre la tierra. Sobre todo teniendo en cuenta que estos descubrimientos fueron realizados en el momento histórico en el que la ciencia oficial eu-

ropea ridiculizaba la Teoría Darwinista de la Evolución y la «vis plastica» todavía se esgrimía en ocasiones como paradigma científico.

Así pues, en el valle del Manzanares, entre el arroyo Meaques (en la Casa de Campo) y Vaciamadrid, se extiende el más importante yacimiento paleolítico de superficie de Europa. Este yacimiento se ensancha por Vallecas, Carabanchel bajo, Villaverde y Pinto, en una extensión de más de 40 Km². En este enorme yacimiento de superficie han sido encontradas miles de pruebas concluyentes de la antigua presencia humana en estos valles, que abarrotan varios museos: bifaces, raederas, discos, núcleos, buriles, raspadores, osamentas de caballo, dientes de rinocerontes y esqueletos de elefantes.

Existen numerosas localidades paleontológicas y arqueológicas cuyos materiales se han conservado hasta nuestros días como el ya mencionado San Isidro, Las Delicias, arenero de Arriaga en Rivas Vaciamadrid, Transfesa en Villaverde bajo y arenero de Aridos en Arganda.

Destacan en este conjunto dos yacimientos. El primero de ellos es el de Transfesa, lugar en el que fue hallado en el año 1958, en la segunda terraza del río Manzanares, un esqueleto completo de elefante antiguo (animal caracterizado por unas largas y rectas defensas, siempre llamadas colmillos cuando en realidad se trata de incisivos), hoy expuesto parcialmente en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Asociado a este proboscídeo se encontraron huesos de jabalí, de ciervos primitivos gigantes —*Megaceros* sp.— e industrias líticas del Período Cultural Achelense. La antigüedad de este depósito se estima en 0.45 Ma, fecha localizada en la glaciación Mindel. Este es el yacimiento con evidencias más antiguas de presencia humana en la provincia de Madrid.

El otro yacimiento es ligeramente más moderno, con una edad situada entre los 0.37-0.32 Ma de antigüedad. Durante el período interglacial Holstein, definido entre la segunda y tercera glaciación, se produjo la sedimentación de la terraza del arenero de Aridos en el río Jarama, cerca de Arganda. Este yacimiento ha sido el depósito de terraza fluvial madrileño que ha aportado mayor información sobre la vida en las riberas de nuestros ríos a lo largo

del Cuaternario. Los fósiles y la industria en él encontrados se localizan en un nivel estratigráfico perteneciente a la llanura de inundación del río. La excavación permitió recuperar huesos de grandes mamíferos así como huesos y dientes de peces, anfibios, reptiles, pequeños mamíferos y aves. En total se obtuvieron restos fósiles pertenecientes a 221 individuos de 55 especies animales. El biotopo deducido a partir de los datos suministrados por la paleontología y la estratigrafía es el de un canal fluvial principal de gran caudal una llanura aluvial recorrida por canales secundarios y sembrada de charcas con plantas acuáticas, bosque ripícola y dominio de las praderas y pastizales en los alrededores sobre los espacios boscosos de tipo mediterráneo. Además del hipopótamo convivieron jabalíes, ciervos, bóvidos de gran talla, un pequeño cánido y el elefante antiguo. Incluido en este biotopo el hombre primitivo, representado por grupos presumiblemente familiares de *anteneandertales*, dejó las huellas de su estancia en esta región. El estudio arqueológico de las industrias descu-

biertas en el yacimiento define el Período Cultural final del Achelense antiguo. El análisis de los elementos líticos junto con los datos tafonómicos hasta su hallazgo, han permitido conocer la génesis de esta acumulación de organismos del pasado. Todos los datos apuntan a una acumulación de huesos producida por la predación no selectiva e indiscriminada del hombre paleolítico.

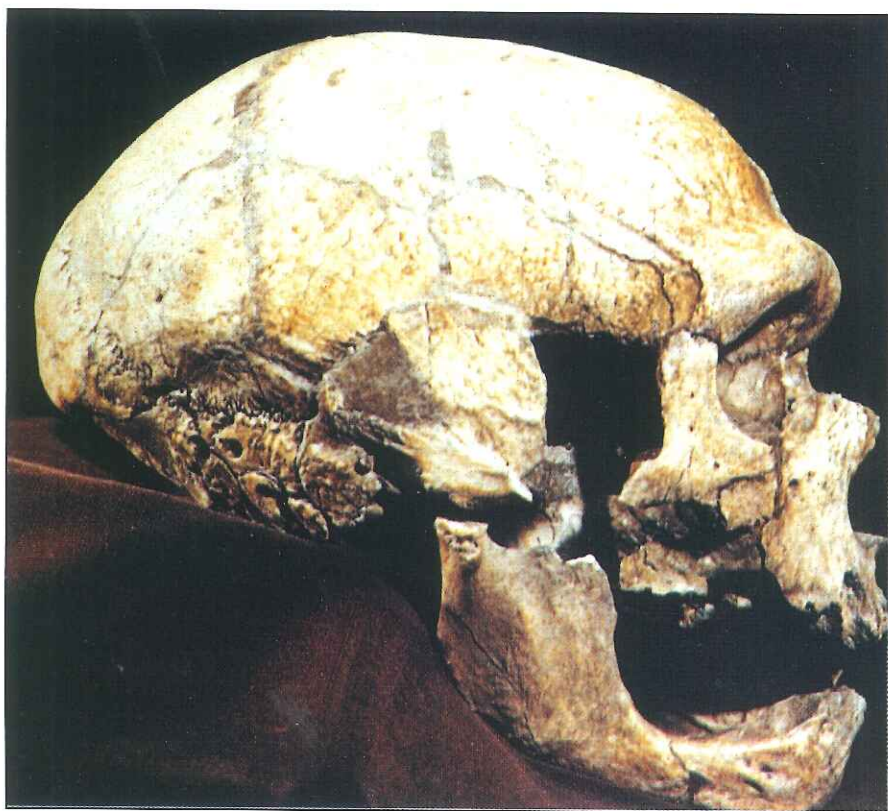
Por lo visto hasta ahora el registro fósil nos ha enseñado que los hombres extinguidos pertenecientes al grupo *anteneandertal* habitaron en la provincia de Madrid desde hace 0.45 Ma hasta hace 0.13 Ma aproximadamente, utilizando las riberas de los ríos meandriformes para obtener alimento y habitando en las cuevas del Valle de Lozoya de una forma más o menos prolongada. Estos homínidos primitivos alcanzaron un grado cultural moderado, reflejado en los objetos que fabricaron, conocieron el uso del fuego y convivieron con animales que hoy nos parecen lejanos en el espacio y en el tiempo. Poblaciones de estos animales se extendieron por toda Europa en estas

edades, extinguiéndose la mayoría de ellos antes de la última glaciación, momento en el que pasaron a ser sustituidos por las formas adaptadas a la vida bajo condiciones extremadamente frías, como el mamut (elefante con defensas curvas), el rinoceronte lanudo –*Coelodonta antiquitatis*–, que podía llegar a tener el tamaño de un elefante asiático actual, y el oso y la hiena de las cavernas evolucionados –*Ursus spelaeus* y *Crocota crocuta spelaea* respectivamente–, animales considerablemente más grandes que sus antecesores. Estos mamíferos coexistieron con el hombre cuando éste se encontraba en el estadio evolutivo neandertal, del que no se han encontrado restos fósiles en nuestra provincia.

Hace alrededor de 35.000 años la línea filogenética humana quedó definida por la subespecie actual, hombres organizados en grupos familiares que poseyeron una tecnología, aunque todavía lítica, avanzada, dominio del fuego, expresiones artísticas como el arte parietal y rituales funerarios complejos. Los animales «exóticos» desaparecieron casi totalmente de la Península Ibérica y fueron sustituidos por las formas actuales como el lobo, el linco ibérico y el oso pardo. El hombre atravesó progresivas etapas culturales perfeccionando sus útiles, creando exquisitos trabajos sobre hueso y domesticando animales salvajes, hace ya 10.000 años.

Así llegamos al hombre neolítico, que inventó la alfarería y se expandió por todo el mundo, unas veces constituyendo grupos sociales nómadas y ganaderos y otras formando grupos sedentarios, que aprendieron a obtener las riquezas que la tierra guarda en sus entrañas, construyendo poblados que se cimentaron unos sobre otros a lo largo de miles de años. En este momento comienza la Historia.

Esta es la riqueza paleontológica y prehistórica que ofrecen las regiones ricas en cursos fluviales y amplias llanuras, lugares en los que animales y hombres han buscado refugio desde la más remota antigüedad, emplazándose en ellos a lo largo de cientos de miles de años. Este patrimonio paleontológico y arqueológico es el resultado del esfuerzo por sobrevivir de nuestros antepasados, y al fin, son los restos que quedan del camino que hasta ahora hemos recorrido, nuestras señas de identidad. ■



Cráneo de *Homo sapiens neanderthalensis* de la Chapelle-aux-Saints (Francia). Esta forma humana extinguida habitó Europa durante el Pleistoceno superior, en un intervalo temporal comprendido entre los 120.000 y los 35.000 años de antigüedad. Foto: J. S. Weiner.

SITUACION ACTUAL DEL SECTOR DE LOS MINERALES INDUSTRIALES EN ESPAÑA



Francisco Gonzalo Corral

Francisco J. Gonzalo Corral, jefe del Departamento de Geología de la División de Minerales Industriales en la S. A. Minera Catalano-Aragonesa, empresa que realiza explotaciones de arcillas especiales, arcillas para usos cerámicos y sulfato sódico e investigaciones sobre otros materiales en varias regiones españolas.

En este trabajo se hace un resumen de la situación del sector de los Minerales Industriales en España, encuadrándolo dentro del contexto mundial. Se analizan las características específicas de algunas de las sustancias más importantes, geología, producción, usos, etc., y se evalúan sus perspectivas de futuro.

This paper is a summary of the Spanish Industrial Minerals situation and your setting in the world context. The specific features of some of the more important minerals, geology, production, main applications, etc., and perspectives are analysed and evaluated.

Introducción

Se pueden considerar minerales industriales aquellos cuyo valor no depende ni de su poder energético ni de su contenido en metales aprovechables. Por tanto abarcan una serie de sustancias de características muy diferentes y de aplicaciones variadas.

Es un sector en rápida expansión a nivel mundial, ya que cada vez se van encontrando más aplicaciones para estos minerales. La amplia gama de utilidades y el hecho de que se empleen en materias como la conservación de la energía, la protección de la salud y del medio ambiente, la alimentación, los nuevos materiales, etc., hace pensar

que su consumo seguirá aumentando de forma muy importante.

Los minerales industriales en España

Por lo que se refiere a España, el sector de minerales industriales es muy joven, ya que algunas de sus especies más importantes han empezado a usarse en la industria en los últimos años.

Se han elaborado unos gráficos de producción de minerales industriales cuya cifra supera los 30 M. de Tm por un valor superior a los 60.000 M. de pesetas (gráficos 1 y 2).

En el gráfico 3 se comparan algunas de las producciones españolas



Foto 1.—Balsas de disolución de glauberita en Belorado (Burgos).

MINERALES INDUSTRIALES

Cifras relativas a 1989

Fuente: Estadística Minera de España

Ministerio de Industria y Energía

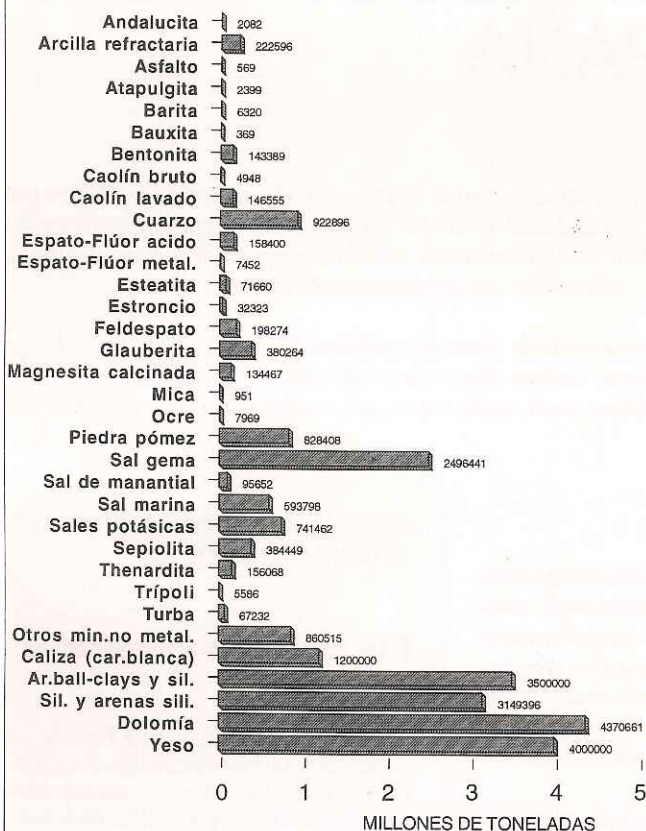


Gráfico 1

MINERALES INDUSTRIALES

Cifras relativas a 1989

Fuente: Estadística Minera de España

Ministerio de Industria y Energía

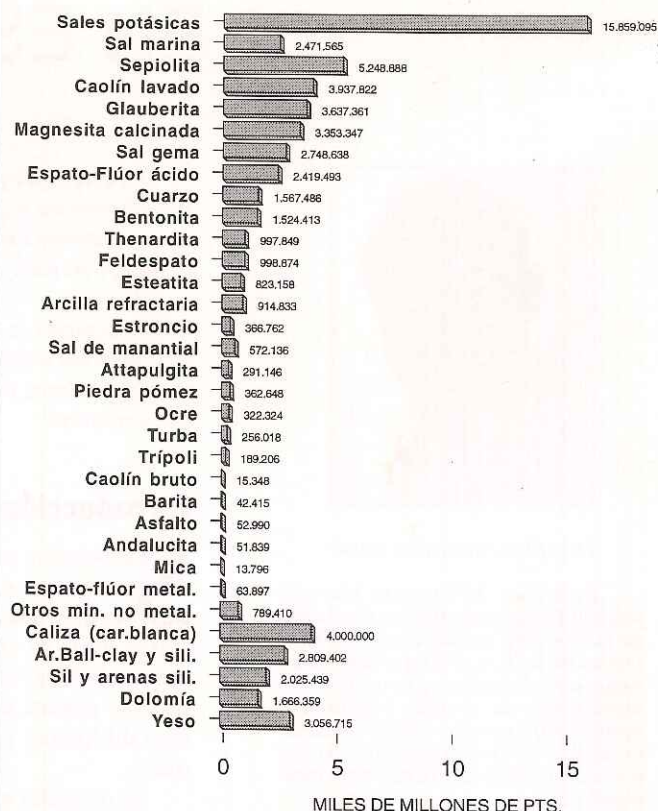
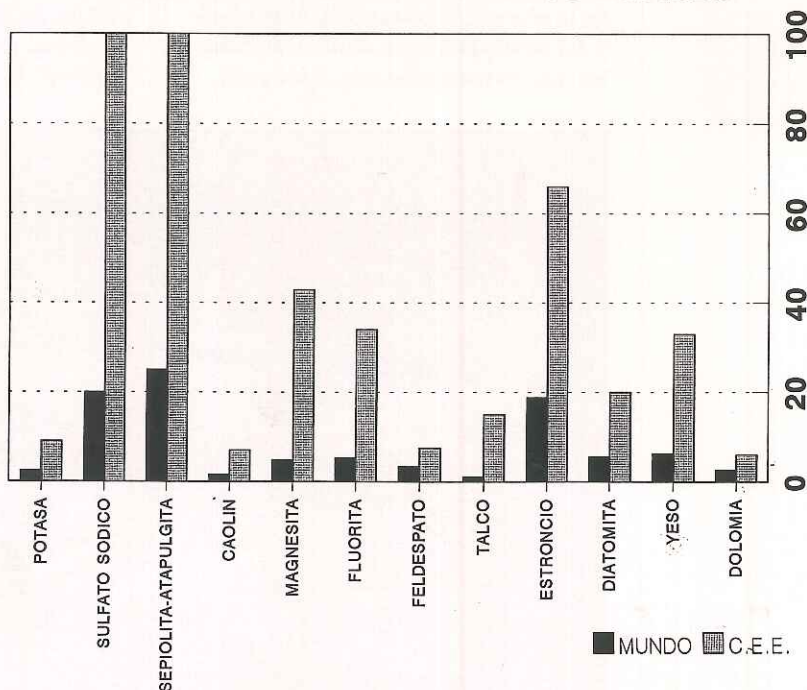


Gráfico 2

PARTICIPACION PORCENTUAL ESPAÑOLA EN LA PRODUCCION MUNDIAL DE ALGUNOS MINERALES INDUSTRIALES



FUENTE: Panorama Minero 1989. Instituto Tecnológico Geominero de España
Ministerio de Industria y Energía

Gráfico 3



Foto 2.—Explotación de bentonita blanca en «Los Trancos», Cabo de Gata (Almería).



Foto 3.—Detalle del frente de explotación en el yacimiento de Attapulgita de El Cuervo (Cádiz).

con las comunitarias y mundiales, tomando como base las referidas al año 1989.

El valor relativo de la producción de minerales industriales dentro del conjunto minero nacional, ha variado desde una cuota muy baja a comienzos de siglo, hasta representar un 20 % en 1989.

Revisión de algunos de los minerales industriales más significativos que se explotan en España

Potasas

En España existen dos cuencas potásicas, localizadas en Cataluña (Suria, Cardona, Balsareny y Sallent) y Navarra (Perdón y Subiza). Se encuentran dentro de la Depresión del Ebro y son de Edad Eoceno Superior-Oligeno Inferior.

En la cuenca catalana, se explotan el 75 % de la producción española, y se estiman unas reservas superiores a 10 M. de Tm de K_2O contenido. Las reservas españolas de potasas supone el 10 % de las de la C.E.E. y la producción anual el 9 % de la misma.

El principal uso de las potasas es la industria de los fertilizantes. La producción total española es del orden de las 750.000 Tm/año de K_2O contenido y con un valor superior a 15.000 millones de pesetas.

Sulfato Sódico

El sulfato sódico natural se produce a partir de dos especies de minera-

les: Glauberita ($(SO_4)_2Na_2Ca$) y Thernardita (SO_4Na_2). Los yacimientos corresponden a depósitos salinos de edad Mioceno y genéticamente asociados a cuencas evaporíticas.

Existen explotaciones mineras en las provincias de Burgos (Cerezo del Río Tirón y Belorado), Madrid (Villacónes) y Toledo (Villarrubia de Santiago). La producción española es de 615.000 Tm/año (SO_4Na_2 contenido), siendo España el único productor de sulfato sódico natural de la C.E.

Las reservas son muy abundantes, de buena calidad y fácilmente explotables. Considerando sólo las reservas de los yacimientos en explotación, se pueden estimar en 100 M. de Tm de SO_4Na_2 contenido.

Su uso fundamental es el de cargas de detergentes. Después se utiliza en el proceso kraff para la obtención de papel, industria del vidrio y otros usos minoritarios como son en la industria cerámica, tintes, y en medicina y veterinaria.

En la foto 1 se pueden apreciar las balsas de disolución de glauberita en la nueva explotación de Belorado.

Arcillas especiales

España es un importante productor de arcillas especiales y cuenta con yacimientos de interés mundial, tanto por sus reservas como por la calidad de las arcillas que se explotan.

Mineralógicamente las dividimos en dos grupos principales:

- Grupo de las Esmectitas-Bentonitas.
- Grupo de la Sepiolita-Attapulgita.

BENTONITA:

Se puede definir a la Bentonita como una arcilla constituida por mi-

nerales del grupo de las Esmectitas, esencialmente Montmorillonita. Las bentonitas que se explotan en España son de tipo cálcico, lo que hace necesario un tratamiento de activación para transformarlas en sódicas. Así mismo, mediante la activación con ácido sulfúrico se consigue una «tierra decolorante» de excelente calidad.

En la actualidad se explotan bentonitas en la Cuenca del Tajo y en la zona del Cabo de Gata (Almería). La producción de bentonitas en España es de más de 150.000 Tm/año, de las que aproximadamente el 70 % se extrae en Almería y el resto en Madrid y Toledo. (Foto 2).

El rango de aplicaciones es muy extenso: lodos de sondeos, arcillas de moldes en fundición, pelletización de menas de hierro, ingeniería civil, fabricación de cementos especiales, decolorantes, papel de copia sin carbón, absorbentes, intercambiadores iónicos, plastisoles, poliésteres, pinturas de base orgánica, cosmética, etc.

ATTAPULGITA:

Attapulgita es el término usado comercialmente para la Paligorskita. Es un silicato hidratado de Magnesio y Aluminio.

En El Cuervo (Cádiz), se explotan varias capas, con una potencia total de 15 metros de una serie sedimentaria lacustre, carbonatada de edad Plioceno. La producción es de 100.000 Tm/año y se comercializa para su uso como Cat-Litter, absorbente de aceites y grasas minerales y soporte de insecticidas y pesticidas. (Foto 3).

En Maderuelo (Segovia), existe otro gran depósito de attapulgita de buena calidad. Un yacimiento impor-



Foto 4.—Aspecto general de la explotación de sepiolita de Vicálvaro (Madrid).

tante es el situado en Torrejón el Rubio (Cáceres), donde se extrae una Attapulgita muy apreciada para la fabricación de lodos de sondeos.

SEPIOLITA:

Mineralógicamente es un silicato magnésico hidratado incluido dentro del grupo de los filosilicatos. Posee una estructura especial que le confiere propiedades absorbentes y reológicas.

Los yacimientos más importantes de Sepiolita se encuentran en la Cuenca del Tajo. En las proximidades de Vicálvaro se localiza el mayor yacimiento de Sepiolita del mundo, con unas reservas superiores a los 15 millones de Tm., y de una calidad excepcional. La Sepiolita aparece en dos secuencias lacustres dentro de una serie fluvio-lacustre de edad Plioceno.

En Calatayud, se explotan igualmente varias capas de potencias próximas al metro, intercaladas en una serie fundamentalmente carbonatada de edad Mioceno.

La producción nacional de Sepiolita en 1989 fue de 385.000 Tm., de las que aproximadamente el 60 % lo fueron de la mina de Vicálvaro, por un valor superior a los 5.000 M. de pesetas. (Foto 4).

Las aplicaciones de la Sepiolita por sus propiedades son:

- Absorción y adsorción: Granular absorbente, producto desodorante, agente decolorante, filtro de cigarrillos, soporte de catalizadores, soporte de fito-sanitarios, carga en caucho, etc.

- Propiedades reológicas: Pinturas, plastisoles, recubrimientos asfálticos, espesante de grasas, suspensiones fertilizantes, lodos de sondeos, fibrocementos.

Caolín

En España hay más de 20 explotaciones de Caolín, distribuidas ampliamente por toda la geografía española. las zonas de mayores reservas y principales centros de producción se encuentran en la Cordillera Ibérica, Galicia y Asturias. Las reservas nacionales de Caolín se cifran en 200 M. de Tm



Foto 5.—Cantera de explotación de caolín en Facies Utrillas. Poveda de la Sierra (Guadalajara).

de mineral útil, localizadas fundamentalmente en las tres zonas mencionadas. (Fotos 5 y 6).

La producción de España en 1989 fue de 150.000 Tm de Al_2O_3 contenido (7 % del total de la producción de la C.E.), por un valor próximo a los 4.000 M. de pesetas.

El Caolín es uno de los minerales industriales con más aplicaciones. Se utiliza en: papel, cerámica, refractario, plásticos, pinturas, cemento, vidrio, siderurgia, química, fertilizantes, etc.

Magnesita

Las magnesitas españolas son del tipo espático, asociadas en capas dolomíticas sedimentarias. Los yacimientos en explotación están localizados en las provincias de Lugo y Navarra.

En Navarra, se produce Magnesita sinterizada (calcinada a muerte) y Magnesita cáustica (calcinada a baja temperatura). En Lugo sólo se produce Magnesita cáustica. La producción anual española de magnesita es de 430.000 Tm., 43 % del total de la C.E.

La utilización mayoritaria es en refractarios (Magnesita sinterizada) y en usos agrícolas, ganaderos e industriales (Magnesita cáustica).

Fluorita

Es un mineral bastante abundante en nuestro país, sobre todo en Asturias, asociado a areniscas y conglomerados



Foto 6.—Minas en Salas (Asturias). Nivel caolinífero interestratificado entre cuarcitas armóricas.

permotriásicos. En los años sesenta, España llegó a ocupar el segundo lugar del mundo como país exportador. La crisis siderúrgica y la disminución de la demanda para la fabricación de gases propulsores de «sprays» (fluocarbonados), han originado una caída en la producción de Fluorita y el cierre de numerosas minas.

La producción española en el año 1989 fue de 162.741 Tm de mineral. Los recursos españoles (F_2Ca contenido) son de 8 M. de Tm., lo que supone el 30 % de los recursos totales de la C.E., la mayor parte en Asturias. Sus usos son: industria química básica, metalurgia y siderurgia.

Feldespatos

Los feldespatos son de los minerales más abundantes en la corteza terrestre y hasta ahora se recuperan fundamentalmente de tres tipos de yacimientos:

- *Pegmatitas y aplitas*: En España tenemos yacimientos de este tipo en Gerona, Galicia, Salamanca y Córdoba.

- *Rocas ígneas*: de tipo Alaskita, Fonolita, Episienita, etc. En España se puede citar como yacimiento de este grupo el de Valderrodrigo en la provincia de Salamanca. (Foto 7).

- *Arenas Feldespáticas*: Formación de arenas que contienen feldespato y que provienen de la alteración de rocas graníticas. En general el feldespato que se extrae de estos yacimientos es potásico, aunque puede tener algo

de sódico. En España existen dos yacimientos de este tipo, en la provincia de Segovia, uno en Carrascal del Río y otro en Navas del Oro. (Foto 8).

La producción de feldespato en España en 1989 fue de 198.274 Tm., lo que supone aproximadamente el 3,4 % de la producción mundial y el 7,5 % de la de la C.E., siendo la primera productora la provincia de Segovia, seguida de Lugo y Gerona.

Sus usos fundamentales son la fabricación de pastas cerámicas y la fabricación de vidrio.

Talco

El talco aparece asociado a rocas ultrabásicas metamorfizadas o a calizas dolomíticas metasomatizadas. Las principales zonas de explotación se encuentran en Puebla de Lillo (León) y Figueras (Gerona).

En los yacimientos de Puebla de Lillo (León), el mineral se localiza en calizas dolomitizadas del Carbonífero Inferior, y en las proximidades de cuarcitas y zonas de fractura. En el norte de la provincia de Gerona, las mineralizaciones de talco se encuentran en los contactos mecánicos de mármoles y micaesquistos.

La producción anual de talco es de unas 71.000 Tm y las reservas superan los 2 M. de Tm.

Los usos mayoritarios del talco son la fabricación de cerámica, pinturas, papel, plásticos, caucho, etc., y en menor proporción la industria farmacéutica y la fabricación de cosméticos.

Estroncio

En la provincia de Granada existen importantes yacimientos de Celestina que se extienden a lo largo de la depresión de Montevives-Escuzar. Los niveles de Celestina de 0,5 a 1 metro de potencia y hasta el 96 % de SO_4Sr , se encuentran intercalados en una formación de limos, arcillas y yesos de edad Messienense Inferior.

Tradicionalmente el yacimiento beneficiado ha sido el de Montevives, cuya



Foto 7.—Yacimiento de feldespato asociado a una episienita alterada en Valderrodrigo (Salamanca).



Foto 8.—Explotación de arenas feldespáticas en Navas del Oro (Segovia).

explotación se ha hecho siempre de una manera artesanal, y que ha producido durante muchos años más del 30 % del total mundial. En la cuenca se han realizado recientemente unas investigaciones, hasta conseguir cubicar unas reservas importantes que han conducido a la apertura de una nueva explotación y el montaje de una planta de tratamiento de mineral en Escuzar para producir 30.000 Tm/año de concentrado.

El uso fundamental del estroncio es la fabricación de tubos de televisión en color. Otros usos de menor importancia es la producción electrolítica de Cinc, fabricación de bengalas y pirotecnia, pigmentos y pinturas.

Diatomitas

Las explotaciones de diatomitas más importantes se encuentran al sur de Albacete, en las proximidades de Elche de la Sierra. Las diatomitas se presentan en capas de potencias métricas, intercaladas en margas y calizas marinas del Mioceno. (Foto 9).

Su aplicación principal es en la fabricación de filtros, para lo que es necesario someter el producto a un proceso de molienda, calcinado y sinterizado, con el fin de mejorar la velocidad de filtración.

Yeso

En la Península Ibérica existen importantes depósitos de yesos desde el Triásico al Mioceno Medio. La po-

tencia de estas masas superan los 100 metros. Hay afloramientos en 37 provincias, aunque el 50 % de la producción se reparte en cuatro de ellas (Almería, Zaragoza, Madrid y Castellón).

Las reservas totales se valoran en más de 9.000 millones de metros cúbicos y la producción anual española es

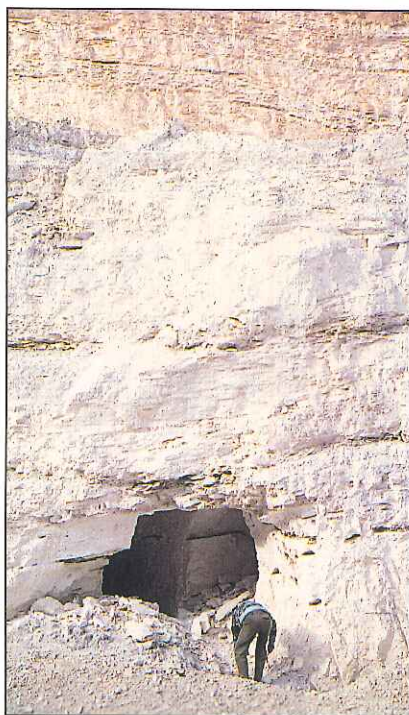


Foto 9.—Detalle de una capa de diatomitas que se extraía por mina de interior. Elche de la Sierra (Albacete).

de alrededor de 7 millones de Tm que supone un 33 % de la producción total de la C.E.

El destino de la producción es:

- Fabricación de yesos y escayolas y fabricación de cementos.
- Exportación.

En los gráficos 1 y 2 solamente figuran las cifras de producción del mineral que se utiliza para la fabricación del yeso y exportación.

Dolomía

La principal productora de dolomía es la región Sur (Málaga y Granada), aunque hay también yacimientos importantes en la región Cantabro-As-túrica. Estas dos regiones proporcionan el 85,5 % de la producción y el 85,3 % del valor de la misma.

Sus principales aplicaciones son como fundente, cargas en general, para la fabricación de productos refractarios y corrector en agricultura.

Carbonato cálcico

El carbonato cálcico (CO_3Ca) es un material muy abundante en la naturaleza en donde se presenta con características muy diferentes en cuanto a color, dureza, estructura, tamaño de grano, pureza, etc.

El carbonato cálcico en España se explota fundamentalmente en Cataluña, existiendo cuatro empresas transformadoras con una producción total superior a un millón de Tm/año. Otras zonas de producción son: Belchite en la provincia de Zaragoza y Estepa en la de Sevilla. (Foto 10).

Aunque se viene usando desde el antiguo Egipto como material de construcción, es a partir de las últimas décadas cuando su utilización se ha incrementado de manera muy notable como ingrediente importante en la fabricación de papel, plásticos, pinturas, caucho, vidrio, detergentes, etc. dando lugar en los países desarrollados a una industria floreciente. El precio se incrementa notablemente con la blancura y con la finura del producto.

Cuarzo

España tiene abundantes reservas de cuarzo en formaciones detríticas, metamórficas y plutónicas.

Las formaciones detríticas se encuentran fundamentalmente en el Cuaternario, Plioceno, Mioceno, Oli-

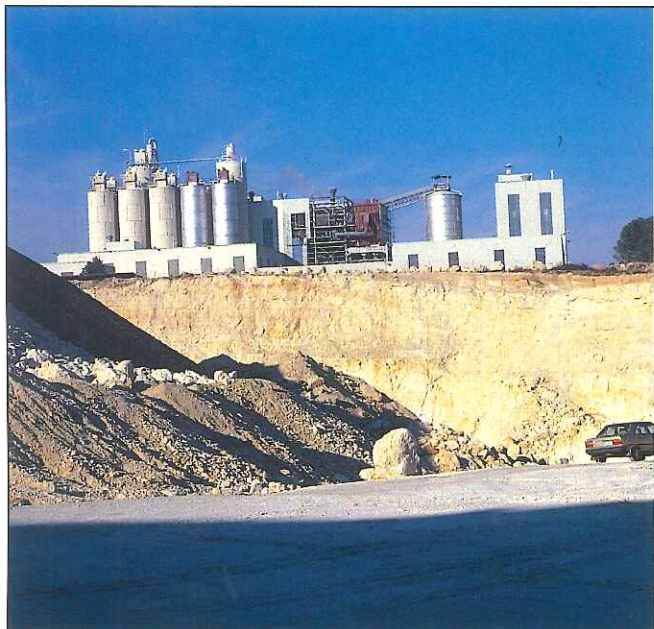


Foto 10.—Cantera y planta de fabricación de carbonato cálcico en Clariana (Tarragona).



Foto 11.—Arcillas *ball-clays* asociadas a capas de lignitos en la Formación Escucha. Ariño (Teruel).

goceno y Cretácico. Su sector de consumo es el de la construcción, el del vidrio, la cerámica y la siderurgia.

El cuarzo metamórfico es el de las cuarcitas de Arenig (Ordovícico), y las cuarcitas de Bámbola, del Cámbrico Inferior, que llegan a alcanzar contenidos medios del 96 % de SiO_2 .

El cuarzo hipogénico se explota fundamentalmente en el Noroeste de España. Se exporta más del 90 % de su producción a los países escandinavos para la fabricación de ferrosilicio y silicio metal.

Arcillas para cerámicas

Además de todas las arcillas que se extraen en España para la fabricación de ladrillos, tejas, etc., hay algunas de características especiales que se utilizan para la fabricación de pavimento, revestimiento, cerámica sanitaria, loza, etc. Se producen mayoritariamente en la provincia de Valencia, en la zona de Villar del Arzobispo y en la provincia de Teruel, donde están asociadas a las formaciones de Escucha y Utrillas.

Pertenecen a estos tipos las denominadas arcillas siliciosas y arcillas caoliníferas (*Ball-Clays*) y su uso se ha incrementado en los últimos tiempos al verse necesitado la importante industria cerámica española de materiales cada vez mejores. Es un sector en el que habrá que trabajar los próximos

años para mejorar las calidades y las posibilidades de suministro propio. (Foto 11).

Otros minerales industriales

Hay otros muchos minerales industriales, hasta un total de 35, que figuran en las estadísticas y que no hemos citado o bien porque su producción en este momento es poco importante, o porque son muy comunes tanto en España como en otros países y por tanto muy conocidos, o debido a que no se han podido citar todos en esta breve síntesis que hemos realizado.

Resumen y Conclusiones

1.—Dada la diversidad geológica que presenta nuestro país, son muchas las posibilidades de existencia de minerales industriales.

2.—Sin embargo, la explotación de un mineral industrial depende de sus características físico-químicas y mineralógicas, que lo hacen útil para unas determinadas aplicaciones.

3.—Además, es muy importante el proceso de transformación, porque casi ninguna de estas sustancias se pueden utilizar tal y como están, sino que hay que elaborarlas necesitando para ello un adecuado soporte tecnológico.

4.—Depende también de la situación del yacimiento, ya que la mayoría de estos minerales son estratégicos, su

utilización condiciona su explotación porque el transporte no puede ser muy grande.

5.—Como conclusión final, se puede afirmar que el campo de los minerales industriales tiene buenas expectativas de futuro, pero por lo que hemos dicho anteriormente, el profesional de la geología que se dedique a estos temas ha de tener muy en cuenta los factores de calidad, tecnológicos y estratégicos, a la hora de evaluar cualquier nuevo proyecto de desarrollo minero. Es necesario estar en contacto con los mercados para saber lo que estos demanda, ya que aquí no es lo más importante la relación Tm/ley, sino el suministro de producto que requiere la industria transformadora. ■

Bibliografía

- CASAS RUIZ, J., Los minerales industriales en España. Boletín Informativo I.C.O.G. n.º 6, 1990.
- DIRECTORIO DE LA MINERIA ESPAÑOLA, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1991.
- PANORAMA MINERO, 1989, Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- VAZQUEZ GUZMAN, F., Depósitos minerales de España. Publicación del I.T.G.E. 1982.

PLAN DE PENSIONES DE LOS GEOLOGOS



ESTAS SON ALGUNAS DE SUS VENTAJAS:

- * Le ayudará a mantener su nivel de vida cuando se jubile
 - * Las aportaciones efectuadas son fiscalmente deducibles
 - * Por ser exclusivo para los geólogos, el Plan tiene una reducción de gastos, de este modo su ahorro es más rentable
 - * El Plan está gobernado por los geólogos
-
- SI USTED YA TIENE UN PLAN DE PENSIONES INDIVIDUAL, PUEDE TRASPASARLO AL PLAN DE LOS GEOLOGOS Y BENEFICIARSE ASI DE SUS VENTAJAS.
 - SI USTED TODAVIA NO TIENE UN PLAN DE PENSIONES, ESTA ES UNA VENTAJOSA OPORTUNIDAD.

Para ampliar información sobre alguno de estos servicios, diríjase al Colegio Oficial de Geólogos o bien a cualquier sucursal del Grupo Banco Popular.

tu futuro, nuestro futuro

PANORAMICA DE LA MINERIA EN ESPAÑA A TRAVES DE LA INVESTIGACION



Felipe Fernández Pompa

Geólogo. Su ejercicio profesional comienza en 1968 en Ibergesa. Tras su formación en diversas especialidades de Geología Aplicada (geotecnia, hidrogeología, prospección y valoración minera), forma parte del departamento de geología, como jefe del mismo desde 1972 a 1976. Ingresa en 1977 en PRN, filial 100 % del BBV. Participa en la estrategia y dirección de la prospección y evaluación minera de la sociedad hasta 1992 en los programas de Minerales Energéticos (lignito y uranio), Metales (básicos, estaño-wolframio, preciosos) y, fundamentalmente, en Minerales Industriales y Rocas Ornamentales (absorbentes naturales, caolines, cerámica y vidrio, carbonatos, refractarios, etc.). Actualmente forma parte de la sociedad consultora, Análisis, Investigación y Medio Ambiente, S. L.

Este artículo pretende darnos una visión clara del panorama de la investigación minera en España, en función de las inversiones, sustancias y técnicas empleadas en las mismas.

The work aims to give a clear insight in the Spanish mining research panorama, as a function of investments, substances and technicians employed.

Introducción

Aprovechando momentos de gran inquietud en el mundo de la minería española, se ha creído conveniente presentar una síntesis de la panorámica de la investigación existente a través de las inversiones realizadas por las Sociedades, las sustancias investigadas y los técnicos empleados en las mismas, cuyo esbozo había sido presentado en Madrid, en la semana del 13/17 de mayo, en las Mesas Redondas sobre «Empleo en Geología» organizadas conjuntamente por la Facultad de Geología y el Colegio Oficial de Geólogos.

No existiendo referencias al respecto resulta difícil y laborioso el establecimiento de un cuadro comparativo con situaciones precedentes, en donde cabría la consideración de que la panorámica era más optimista que la actual, por el simple hecho de que «cualquier tiempo pasado fue mejor».

Aunque no pueda decirse que las perspectivas sean optimistas, se puede avanzar, no obstante, que la actuación de las Sociedades, en el campo de la investigación minera ha variado sensiblemente, habiéndose transformado las estructuras, los objetivos y dinámica de los Proyectos. En realidad, se ha pasado a operaciones de mediana inversión, bastante diferenciadas y al tiempo muy seleccionadas, en consonancia, por otra parte, con el potencial geológico-minero del país. Consideramos que se ha ganado en participación, en detrimento del potencial empresarial, así como en empleo, resaltándose, además, la abierta competencia de Sociedades españolas con las transnacionales y la manifiesta presencia de los Organismos y Sociedades Estatales de

investigación minera, en los distintos campos de las sustancias consideradas. En lo que a inversiones se refiere, con 2.500 a 2.750 MPta anuales, se está por debajo de la cifra correspondiente al porcentaje justificado del país, en función de la facturación global del Sector minero, que en el año 1988 ascendía a la cifra de $406.600.973 \times 10^3$ Pta. según la Estadística Minera de España. Nos situamos, de alguna forma, como «país inexplorado» a pesar de la larga tradición minera, albergando posibilidades de localización de objetivos mineros en los campos de los Minerales Industriales, las Rocas Ornamentales, los Metales Básicos y Preciosos.

Metodología

Para llevar a cabo esta síntesis se procedió de la siguiente forma:

- Se ha seleccionado una muestra de cincuenta Sociedades que operan en el campo de la Minería en España con exploración e investigación.

- Se consideraron presupuestos anuales en investigación minera a partir de cinco millones de pesetas que cubren las actividades desde la exploración tipo «grass-roots» hasta la iniciación del estudio de viabilidad económica del supuesto yacimiento o masa minera evaluada. No se incluyen, por tanto, desarrollos mineros o la investigación del yacimiento para la propia explotación planificada.

De esta forma quedan fuera del presente estudio, una serie de Sociedades explotadoras, fundamentalmente en carbón y rocas ornamentales, donde es notoria la participación de inversiones ligadas a la propia explotación, alcanzando en muchos casos, cifras eco-

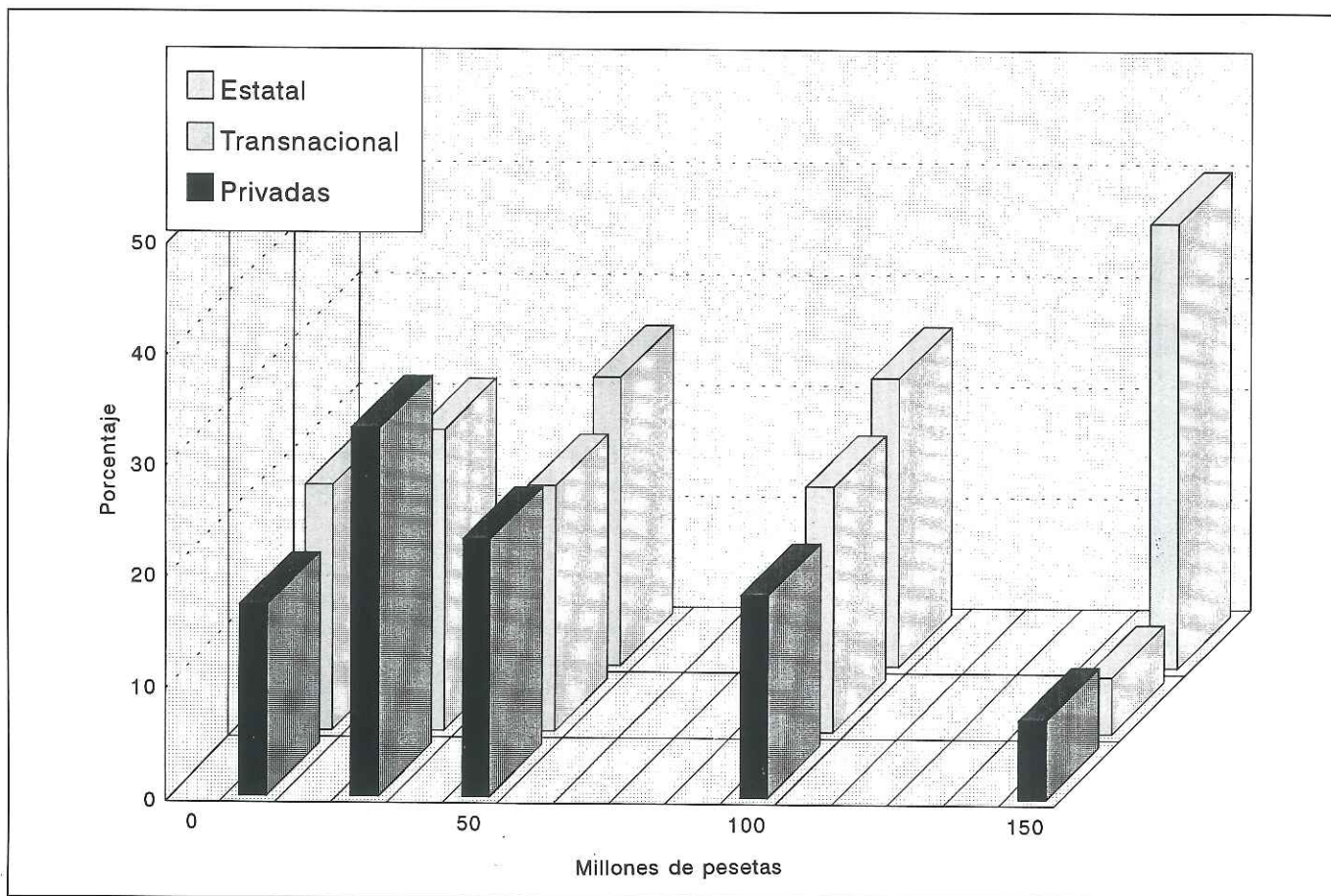


Fig. 1. Inversiones realizadas por las Sociedades.

nómicas dignas de resaltarse. Por su dimensión y progresión, de algún modo, van ligadas a los costos de explotación.

- Los presupuestos-inversiones barajados incluyen las actividades directas o en algunos casos los denominados gastos externos de las Sociedades.

- Sobre un 15 % aproximado de la muestra se ha llevado a cabo un control directo, comprobándose que se estaba dentro del margen de confianza permitido, de hasta un 10 % de desviación.

- Los parámetros básicos contemplados han sido: inversión anual, tipo de sustancia investigada y número de técnicos empleados en exploración/investigación.

- La inversión se ha estratificado en cinco subgrupos: hasta 10 MPta., 10-30, 30-50, 50-100 MPta. y más de 100 MPta.

- Se han establecido, asimismo, seis grandes subgrupos de sustancias investigadas: Minerales Industriales, Rocas Ornamentales, Energéticos, Metales Básicos, Preciosos y otros (hierro, etc.).

Dado que los objetivos del estudio se centraba en la obtención e in-

terpretación de datos relacionados con la actividad de la investigación minera, en los subgrupos de Energéticos y R. Ornamentales la muestra no ha incluido, en toda su magnitud, las inversiones de las Sociedades explotadoras que, implícitamente llevan aparejadas su propia investigación, como se decía anteriormente. Consideramos a este respecto que este apartado puede constituir en cuerpo de doctrina especial, debiendo incluirse en actividades de investigación del propio yacimiento en explotación. Se admite, no obstante, que las cifras de inversiones en investigación en dichas sustancias son de difícil cuantificación, dadas las características del dominio minero y los especiales condicionamientos de su estructuración empresarial.

Tipo de Sociedades por inversiones

La distribución de inversiones por Sociedades se expresa en la figura 1 de la que se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La inversión global anual en investigación minera en España puede situarse en el entorno de 2.500 a 2.750 MPta.

- Al tratarse de inversiones de baja-media entidad no se produce actualmente diferenciación entre Sociedades españolas y transnacionales.

- Existe un paralelismo muy grande entre dichas Sociedades, situándose en primera línea, con un 33 y 28 % respectivamente, las que invierten entre 10-30 MPta. seguidas muy de cerca por aquellas cuya inversión se sitúa entre 30-50 MPta. Por el contrario, para el caso de los Organismos y/o Sociedades Estatales, el primer lugar con un 46 % lo ocupan las inversiones de 150 MPta., seguidas en igual porcentaje, un 27 %, de aquellas cuyas cifras se sitúan entre 30-100 MPta. y 30-50 MPta.

- Las Sociedades privadas predominantes, situadas en el tramo de 10-30 MPta. de inversión, son básicamente Sociedades mineras monoproductoras, pertenecientes al campo de los M. Industriales: cuarzo, sales, caolines, etc. Están ligadas a Grupos Industriales de primera línea cuyo objetivo esencial

SUSTANCIAS-SOCIEDADES

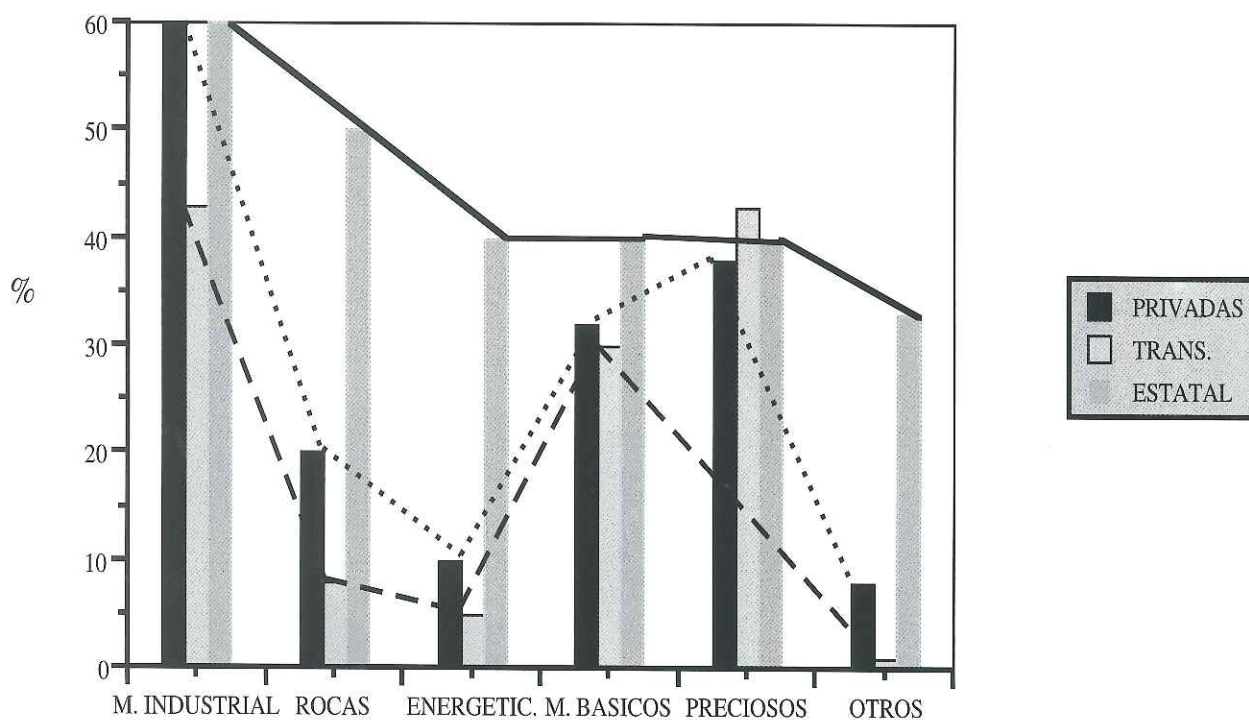


Fig.2.

reside en la continuidad de sus explotaciones. Ultimamente existe una tendencia hacia una diversificación en sustancias afines o complementarias a los campos industriales en los que militan. Asimismo se incluyen en estas Sociedades alguna de tipo medio, familiar, cuyo fin esencial radica en la desinversión de algún Proyecto con lo que se facilita la actuación de otras Sociedades de mayor entidad económica.

– Las situadas en el tramo de inversión de 30-50 MPta. pertenecen igualmente a Sociedades monoproductoras, tanto del subgrupo de M. Industriales como de los Metales Básicos. Se trata del mismo tipo de Sociedad que las del grupo anterior, con mayor participación de las transnacionales, ocurriendo, en este caso, la existencia de Asociaciones o «Joint venture» entre ellas. Pertenecen asimismo a financieras, significándose una acusada diversificación. A nivel de Sociedades Estatales tiene cabida, en este tramo, las generadas por iniciativa autonómica.

– Las Sociedades cuya inversión se sitúa en el primer tramo, es decir hasta 10 MPta. pertenecen a aquellas explotadoras tradicionales, en donde

encajan las Sociedades familiares, de reducida dimensión económica. Disponen de buenos yacimientos y/o proyectos en el subgrupo de los M. Industriales, quedando centrada su actividad investigadora hacia el estiramiento, en el tiempo, de los recursos mineros que están explotando.

– Las Sociedades con 50-100 MPta. de inversión están muy acreditadas. Militan en el campo de los M. Básicos y Preciosos, si bien ha de reconocerse igualmente la presencia de alguna explotadora del subgrupo de M. Industriales que ocupan lugares privilegiados en el panorama minero español. Asimismo deben incluirse una serie de Sociedades transnacionales, de nuevo cuño en España y de solvencia reconocida internacionalmente que buscan objetivos muy seleccionados en el campo de los metales básicos.

– Finalmente, el tramo de inversión superior a 100 MPta lo ocupan el 6 y 8 % de las Sociedades privadas y transnacionales respectivamente y el 46 % de las Estatales. Generalmente aquellas militan en el subgrupo de los Metales básicos y/o preciosos y su estrategia se basa en la consecución de

nuevos desarrollos de masas metálicas para su puesta en explotación a medio-largo plazo. En el caso de las Estatales este mayor porcentaje en el tramo incluye una gama de sustancias muy amplias, dada la versatilidad de sus objetivos mineros.

Sustancias investigadas

Dentro del abanico de sustancias investigadas por las Sociedades, la distribución queda reflejada en la figura 2, cuyas características principales residen en la existencia de dos máximos en los subgrupos de M. Industriales y preciosos para todas las Sociedades y mínimos en Rocas y Energéticos, atenuados en el caso de las Sociedades Estatales. Dichos mínimos en el caso de las privadas y transnacionales quedan explicados claramente por las características de la muestra, reseñada en apartados anteriores. En grandes líneas puede decirse que la investigación minera actual está ciertamente diversificada, resaltándose el predominio de los M. Industriales, M. Básicos y de los Preciosos.

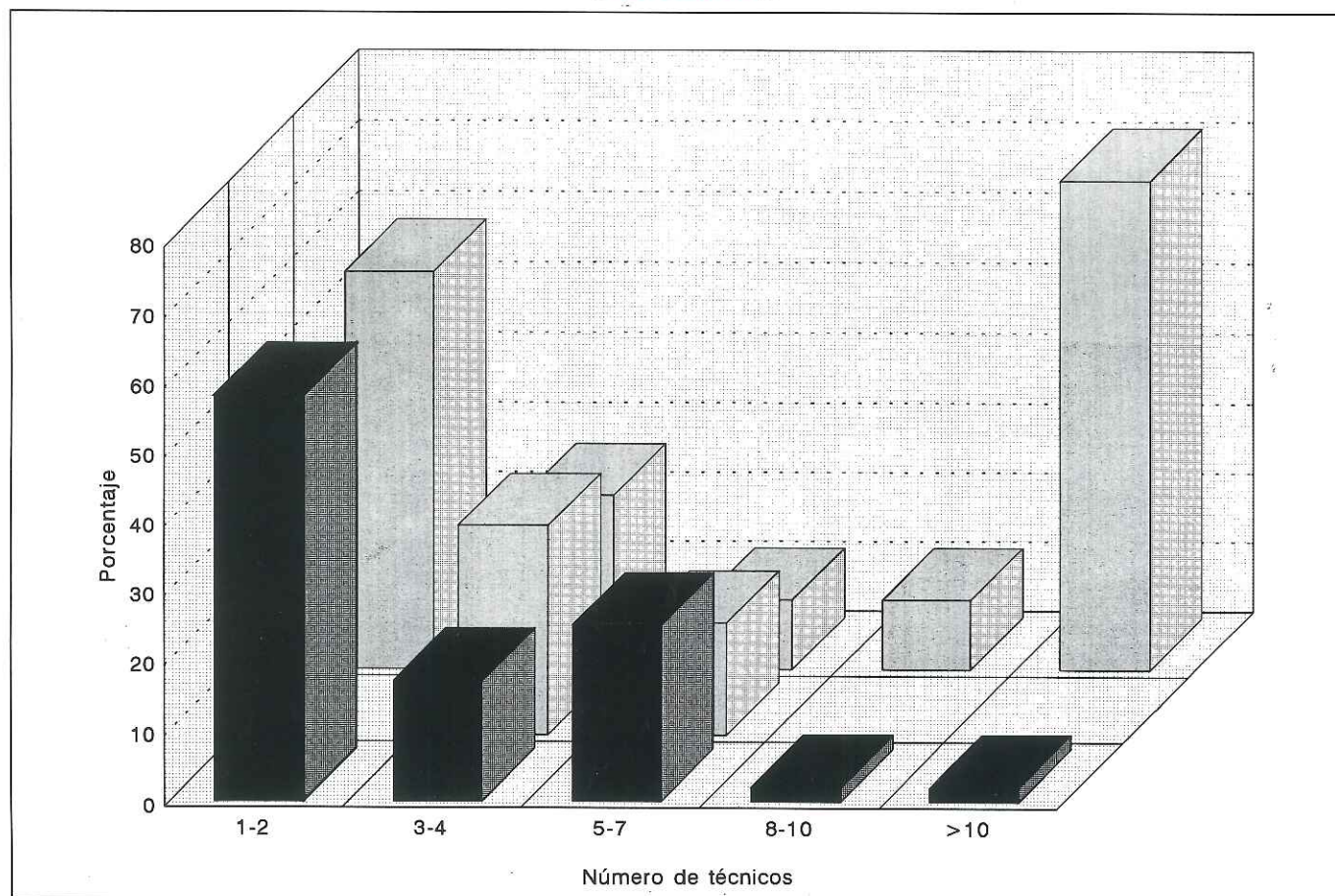


Fig. 3.

Técnicos en investigación minera

El número de técnicos en exploración-investigación minera asciende a la cifra global de trescientos empleos directos más otros cien indirectos que pueden distribuirse en las Empresas de servicios. De esta cifra puede corresponder el 85 % a titulados geólogos.

La distribución de estos empleos está reflejada en la figura 3, hallándose extraídas las siguientes conclusiones:

- El número de técnicos empleados se distribuye muy notoriamente en porcentajes del 50-60 % en Sociedades privadas que emplean a 1-2 técnicos, mientras que el mayor porcentaje para el caso de las Sociedades Estatales, el 60 %, se produce cuando el número de técnicos empleados supera a diez.

- Lo usual en las Sociedades mineras privadas, incluso en las transnacionales, es que se emplean a 3-4 técnicos, situándose en menor frecuencia, pero bastante próximas, las que utilizan 5-7 técnicos, siendo francamente minoritarias en el caso de 8-10 técnicos.

- Existen marcadas diferencias entre el empleo de técnicos en las Sociedades privadas y en las Estatales, estando justificado por la mayor dimensión de estructura empresarial en estas últimas.

- El mayor porcentaje de empleo-Sociedad está en las Sociedades Estatales, mientras que la mayor frecuencia del mismo se produce en las privadas, donde la media de empleo reside en 3-4 técnicos en el caso de las transnacionales y 5-7 técnicos en las españolas.

Conclusiones

El panorama de la investigación minera en España, en función de las inversiones, sustancias y técnicos empleados puede resumirse en los siguientes puntos:

- La inversión global/anual puede situarse en el entorno de 2.500 a 2.750 MPta.

- El tipo de inversión media anual en la Sociedad privada puede ser del orden de 30/50 MPta., siendo

bastante superior el de la Sociedad Estatal que puede aproximarse a 100 MPta.

- Se trata de inversiones de baja-media entidad y en la actualidad por este concepto no permiten diferenciaciones entre las Sociedades transnacionales y las privadas españolas.

- La inversión más frecuente en las Sociedades privadas se sitúa en el tramo de 10-30 MPta. mientras que en las Estatales se establece en el tramo de más de 100 MPta.

- Las sustancias investigadas en mayor porcentaje son los Minerales Industriales, los Preciosos y Metales Básicos.

- El número de técnicos utilizados en la exploración-investigación minera es de trescientos, calculándose otros cien empleados indirectos que colaboran a través de Sociedades consultoras o de Servicios.

- La mayor frecuencia de empleo en Sociedades privadas se produce en el caso de aquellas que utilizan 1-2 técnicos, seguidas muy de cerca por las que emplean 3-4 y 5-7 técnicos. Para el caso de las Estatales se produce cuando superan a 10 técnicos. ■

LOS METODOS DE PROSPECCION GEOFISICA APLICADOS A LA EXPLORACION DE MINERALES INDUSTRIALES. EJEMPLOS PRACTICOS



Florencio Fernández Alonso

Geólogo y Geofísico. Consejero Delegado de Geoexploraciones, S. A. Desarrolla su actividad en investigación minera, hidrogeología, ingeniería civil y medio ambiente.

La creciente demanda de minerales industriales por las nuevas tecnologías obliga a la búsqueda de yacimientos no aflorantes, donde los métodos geofísicos desempeñan un importante papel. En este artículo se expone la filosofía para elegir la metodología geofísica más adecuada para una investigación concreta, y se describen varias aplicaciones prácticas en la prospección de depósitos de minerales industriales.

The growing demand of industrial minerals by the new technologies make necessary the search of no outcropping deposits where the geophysical methods play an important role. This article exposes the philosophy to choose the most adequate methodology for a specific investigation and it describes several practical applications in the exploration of industrial minerals deposits.

1. Introducción

Cada día es mayor la demanda de los denominados minerales industriales por las nuevas tecnologías, lo que implica un incremento en la actividad minera con el consiguiente agotamiento progresivo de los yacimientos actuales, ubicados principalmente en afloramientos de las diferentes sustancias.

Esta evolución obliga a la búsqueda de nuevos depósitos que ya no afloran, por lo que es necesario recurrir a métodos indirectos, dentro de los cuales las técnicas geofísicas ocupan un lugar predominante.

Ante esta panorámica, se plantea la necesidad de elegir el método geofísico más adecuado para cada problema particular, tema que constituye el objeto fundamental de la presente ponencia. Al final se incluyen ejemplos prácticos, de investigaciones realizadas por nosotros, que ilustran la aplicación de la geofísica en el sector de los minerales industriales.

2. Bases para la elección de métodos geofísicos

En toda investigación geológico-minera las técnicas geofísicas pueden aplicarse con carácter regional o de detalle.

En investigaciones regionales la geofísica se emplea para descubrir y delimitar estructuras o unidades litológicas no aflorantes, extrapolar otras localmente conocidas y en cartografía de grandes áreas. En esta etapa se utilizan normalmente sistemas aeroportados (magnetometría, electromagnetometría y radiometría) y también métodos terrestres (gravimetría, magnetometría y resistividades, fundamentalmente).

En una investigación de detalle, los métodos geofísicos tienen por objeto determinar la situación y características del mineralotecto litológico o estructural (*aplicación indirecta*), o bien conocer la posición y geometría del depósito mineral (*aplicación directa*). La última fase, deseable en toda exploración, no siempre es posible.

Una vez decidida la escala del levantamiento geofísico, es necesario elegir el método y para ello hay que tener en cuenta que la *condición necesaria* que debe cumplir, es que el parámetro físico cuya medida constituye su fundamento presente un contraste adecuado entre la mineralización (u horizonte litológico) y las rocas (u horizontes) encajantes. Dicho contraste representa las *posibilidades* del método.

Además, debe satisfacer ciertas *condiciones de suficiencia* de naturaleza compleja, que vienen controladas, entre otros factores menos influ-

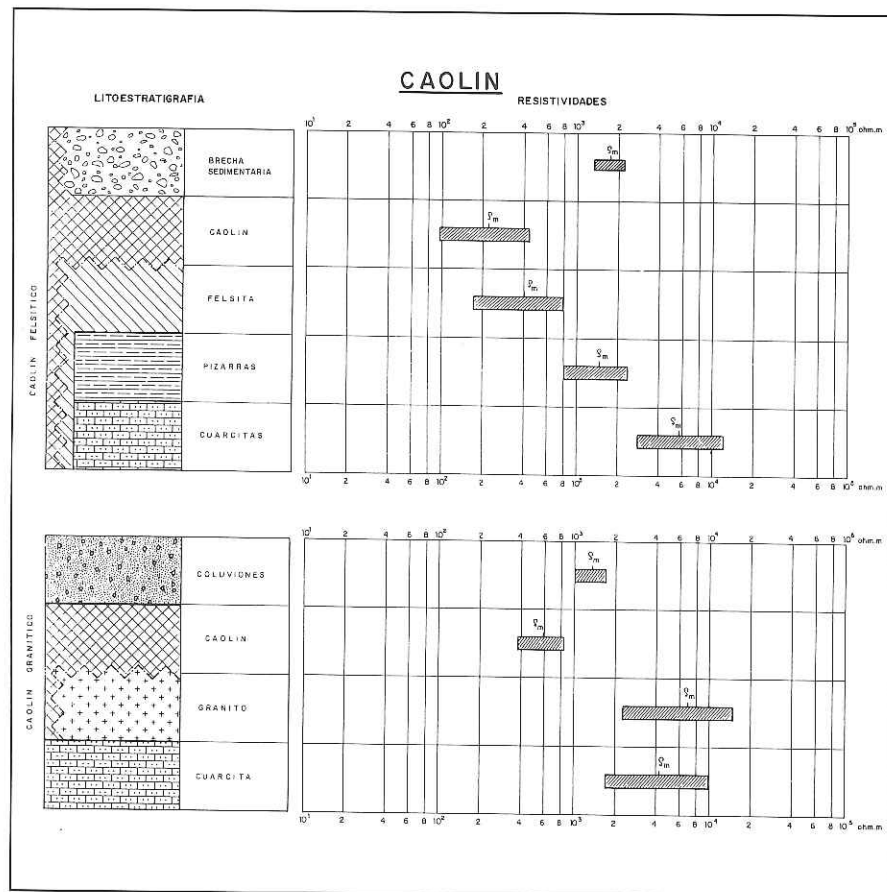


Fig. 1.-Columna Litorresistiva Burela de Cabo (LUGO)

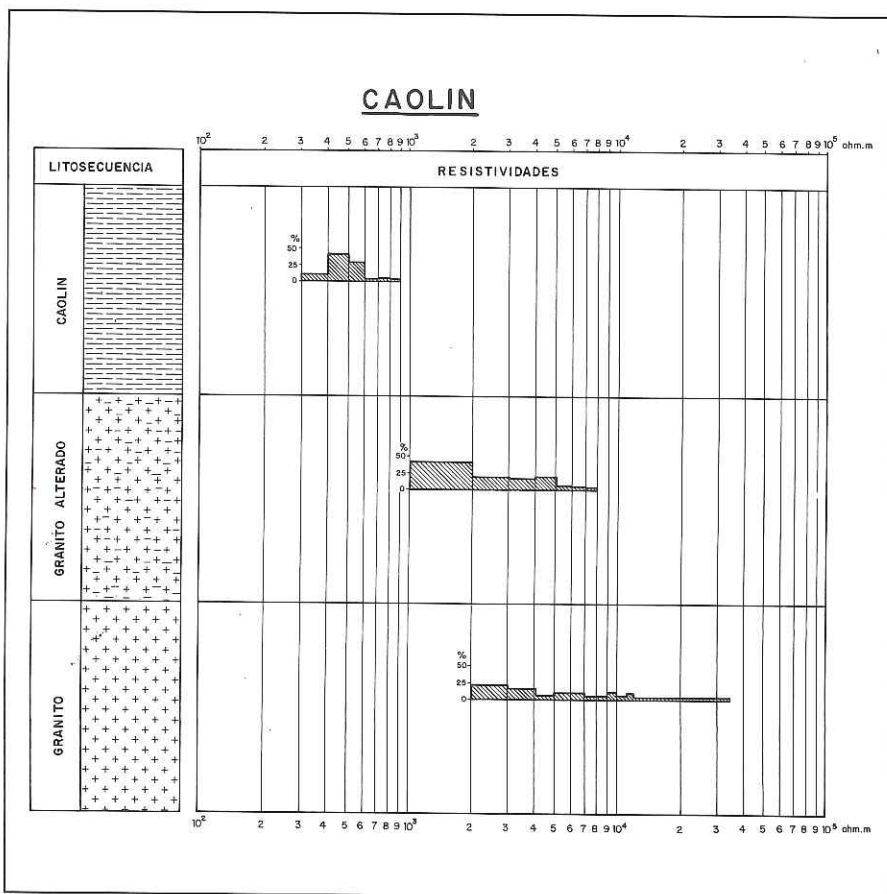


Fig. 2.-Columna Litorresistiva Vimianzo (LA CORUÑA)

yentes, por la topografía de la zona; por la geometría, tamaño, estructura y profundidad del objetivo; y por las litologías que conforman la columna estratigráfica. Estos condicionantes constituyen, en conjunto, las *limitaciones* del método.

Para conocer el método o métodos, que cumplen la condición necesaria para ser aplicados en la investigación de un yacimiento concreto, es preceptivo establecer la *columna litofísica* del distrito minero correspondiente, efectuando mediciones paramétricas, o una sistemática equivalente, que incluyan tanto el cuerpo mineralizado como las diferentes unidades litológicas relacionadas con él.

Cuando no se conoce dicha columna litofísica, es posible inferir el comportamiento geofísico de un mineral a partir del tipo de enlace de la red cristalográfica, que condiciona las propiedades eléctricas del cuerpo mineralizado, y a través del índice de empaquetamiento y peso atómico de sus componentes, que inciden sobre la densidad. En esta línea, la mayoría de los minerales industriales poseen enlace químico de carácter iónico por lo que, eléctricamente, son resistivos, aún cuando pueden tener valores claramente diferenciados de los que presentan las rocas encajantes. La pirita, considerada aquí como mena de azufre, tiene enlace en parte metálico y se comporta como conductora de la corriente eléctrica, por lo que no sigue la norma general. Otro tanto puede decirse del grafito. En relación con la densidad, la influencia principal procede del peso atómico de los elementos que forman el mineral más que de su índice de empaquetamiento. Esta propiedad se pone claramente de manifiesto en el caso de la barita y de la propia pirita (alta densidad), y también del yeso y halita (baja densidad).

La condición de suficiencia se deduce del estudio geológico-minero que debe preceder a la campaña geofísica. Una información complementaria que aporta dicho estudio previo, es la eventual existencia de asociaciones de minerales que, en determinados casos, pueden incidir en la elección del método al utilizar las mineralizaciones secundarias, normalmente sin interés económico, como vehículo para llegar al objetivo de la investigación.

Elegido el método (o métodos) idóneo, es necesario diseñar la red de observaciones que, en líneas generales, se ajustará a la geometría del cuerpo mine-

CAOLIN

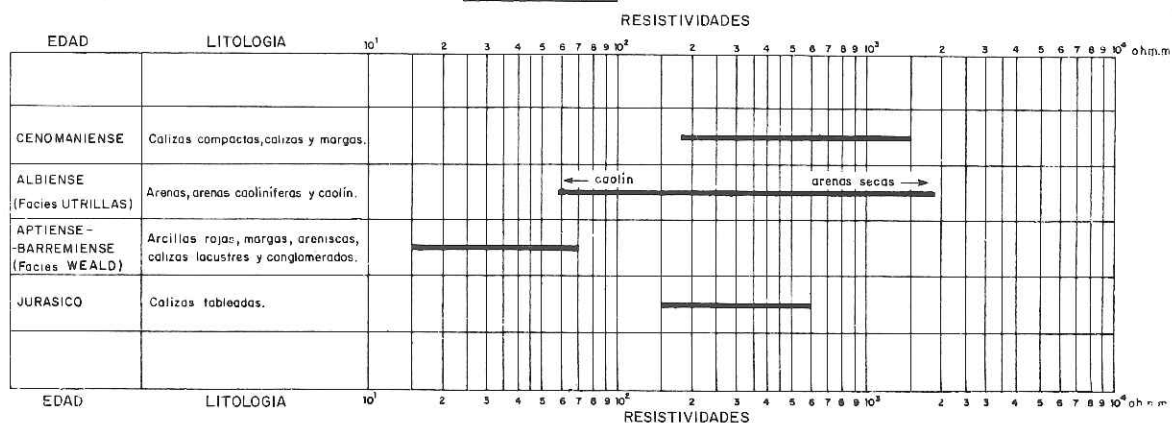


Fig. 3.-Columna Litorresistiva Peñalen (GUADALAJARA)

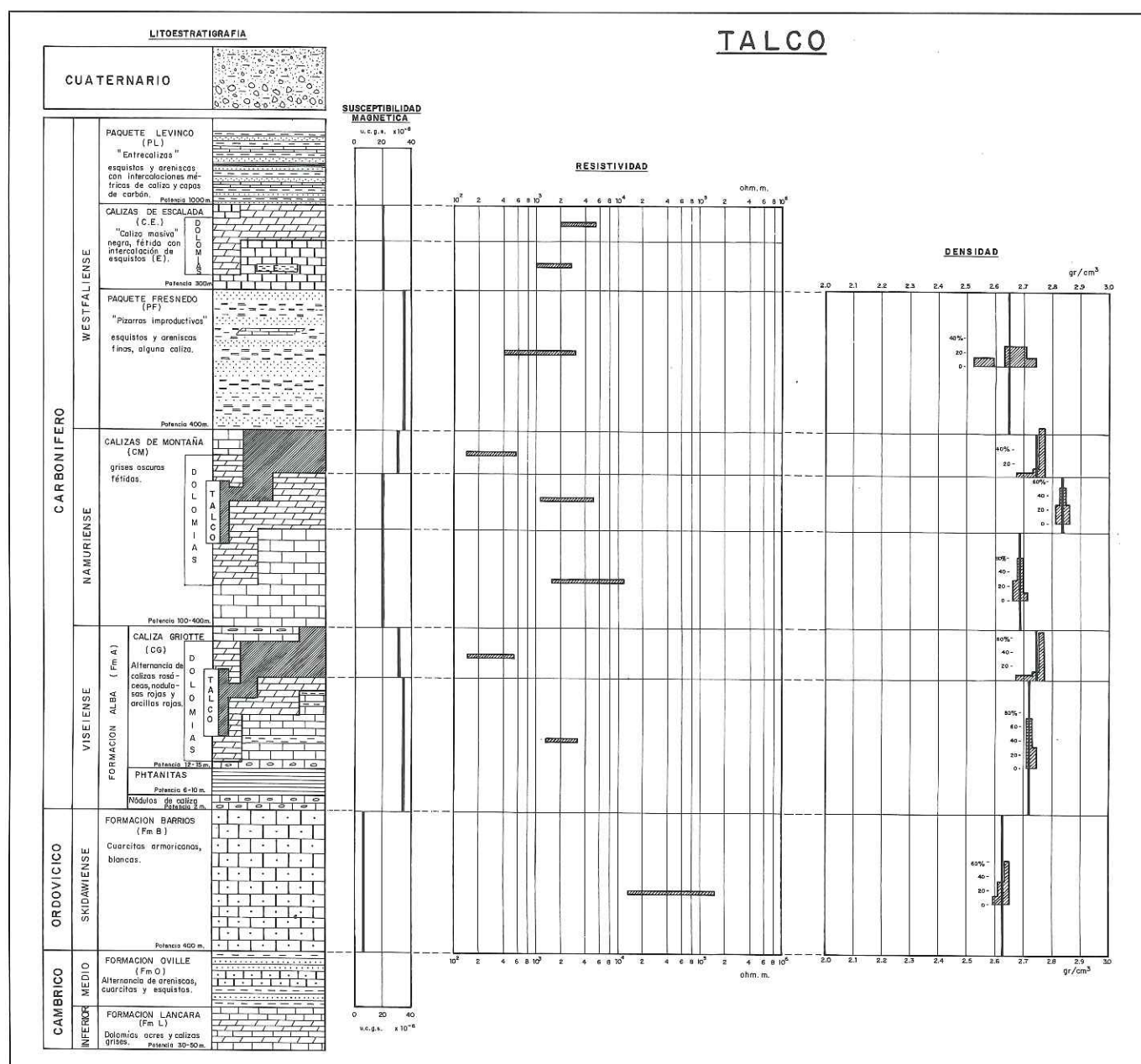


Fig. 4.-Columna Litofísica Puebla de Lillo (LEON)

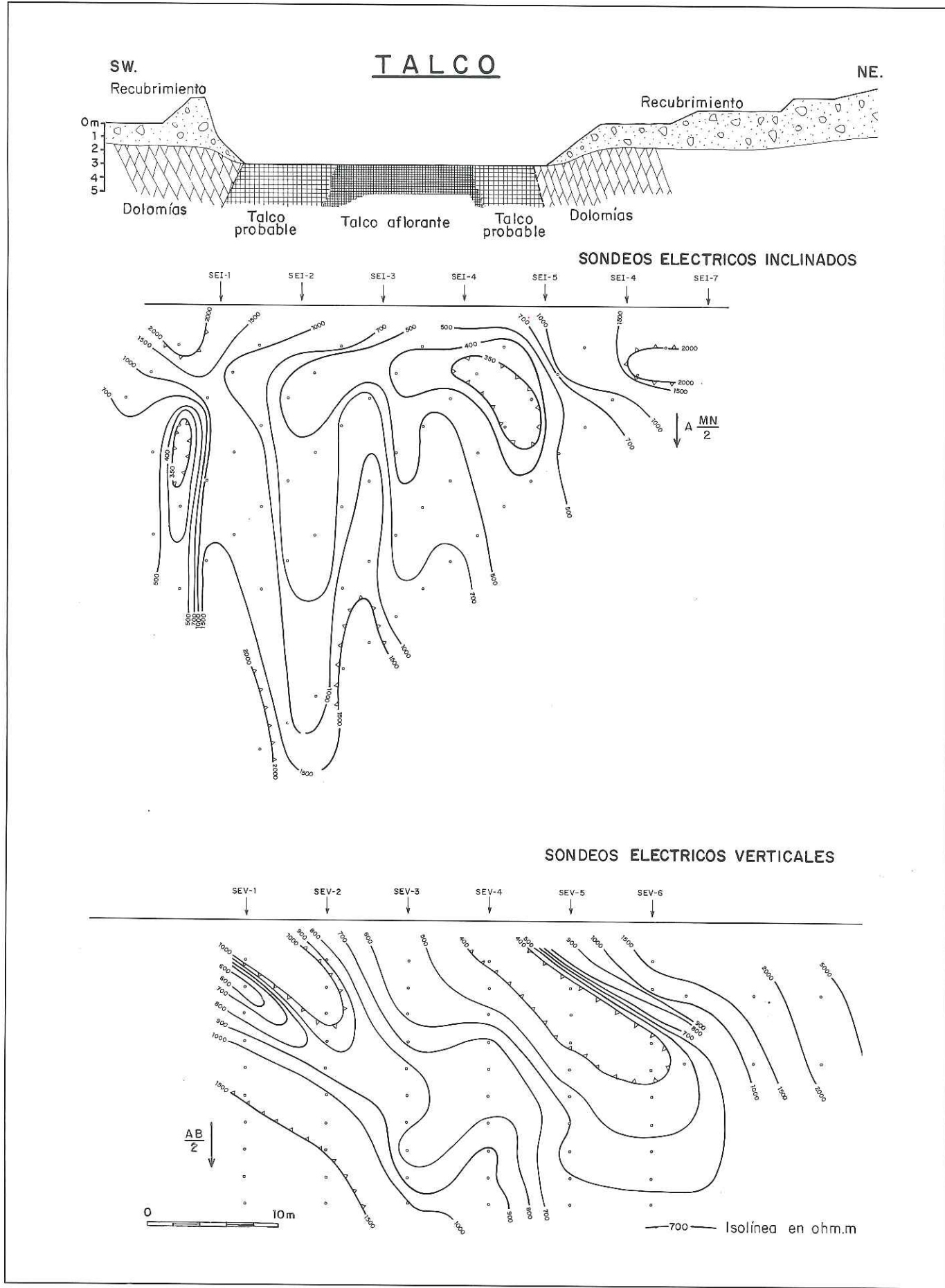


Fig. 5.—Secciones de resistividad aparente «LA ESPINA»— Puebla de Lillo (LEON)

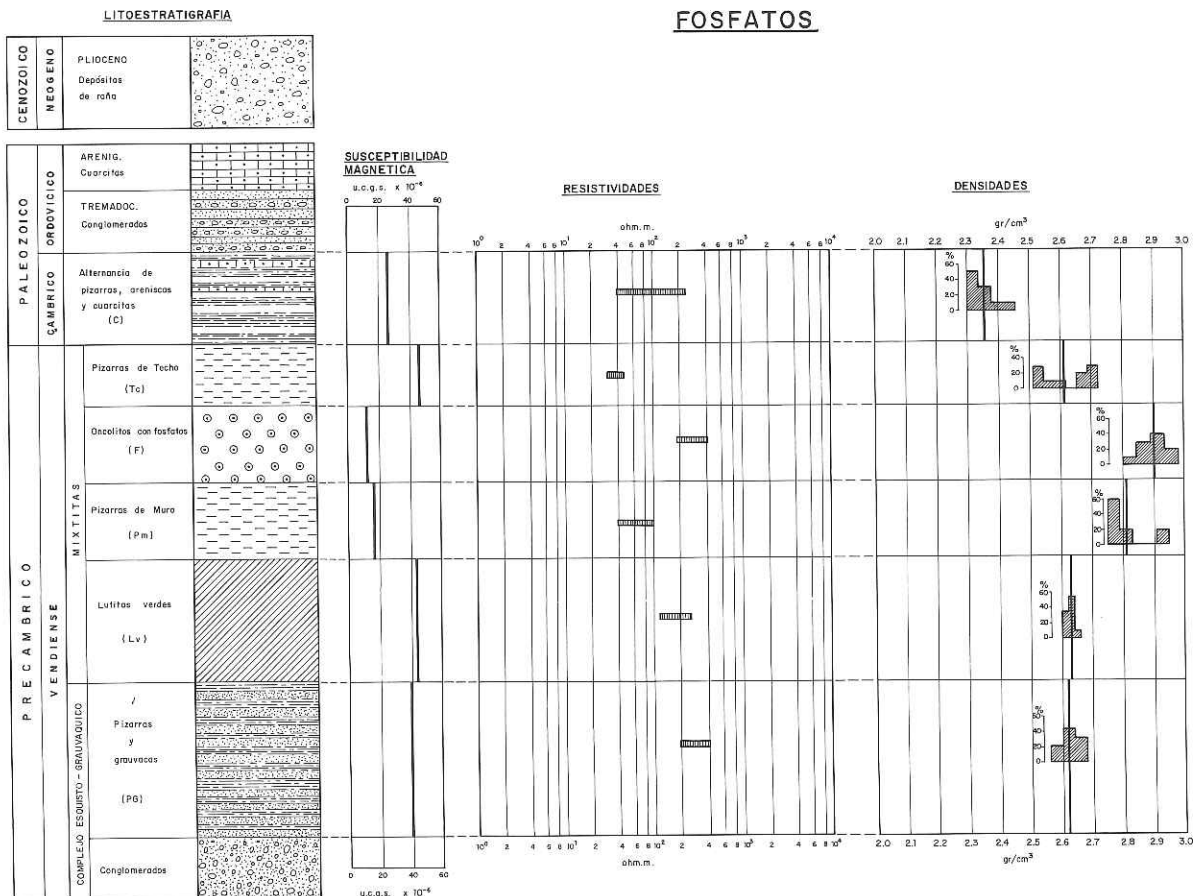


Fig. 6.-Columna Litofísica Fontanarejos (CIUDAD REAL)

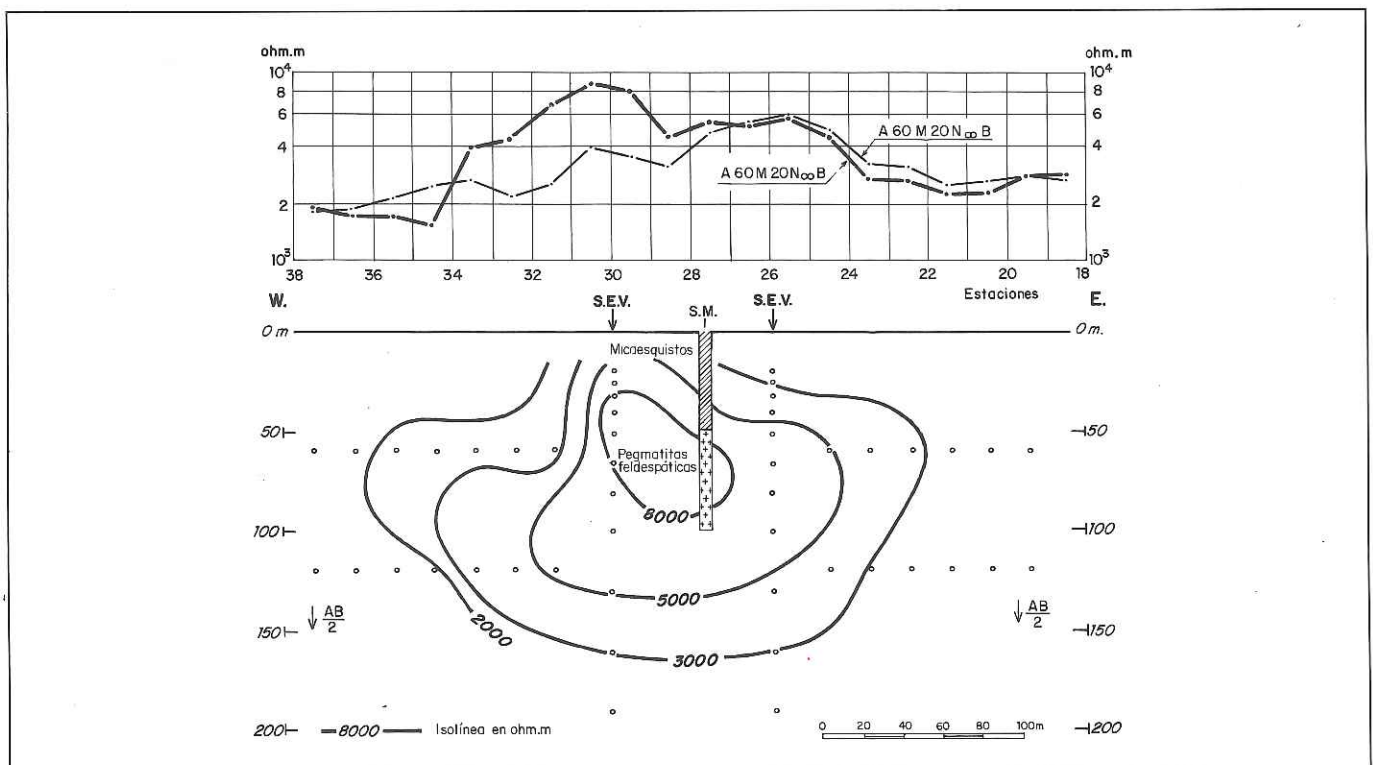


Fig. 7.-Investigación Geolétrica de cuerpos Pegmatíticos ricos en Feldespato. Distrito de Oberpfalz, Baviera (ALEMANIA)

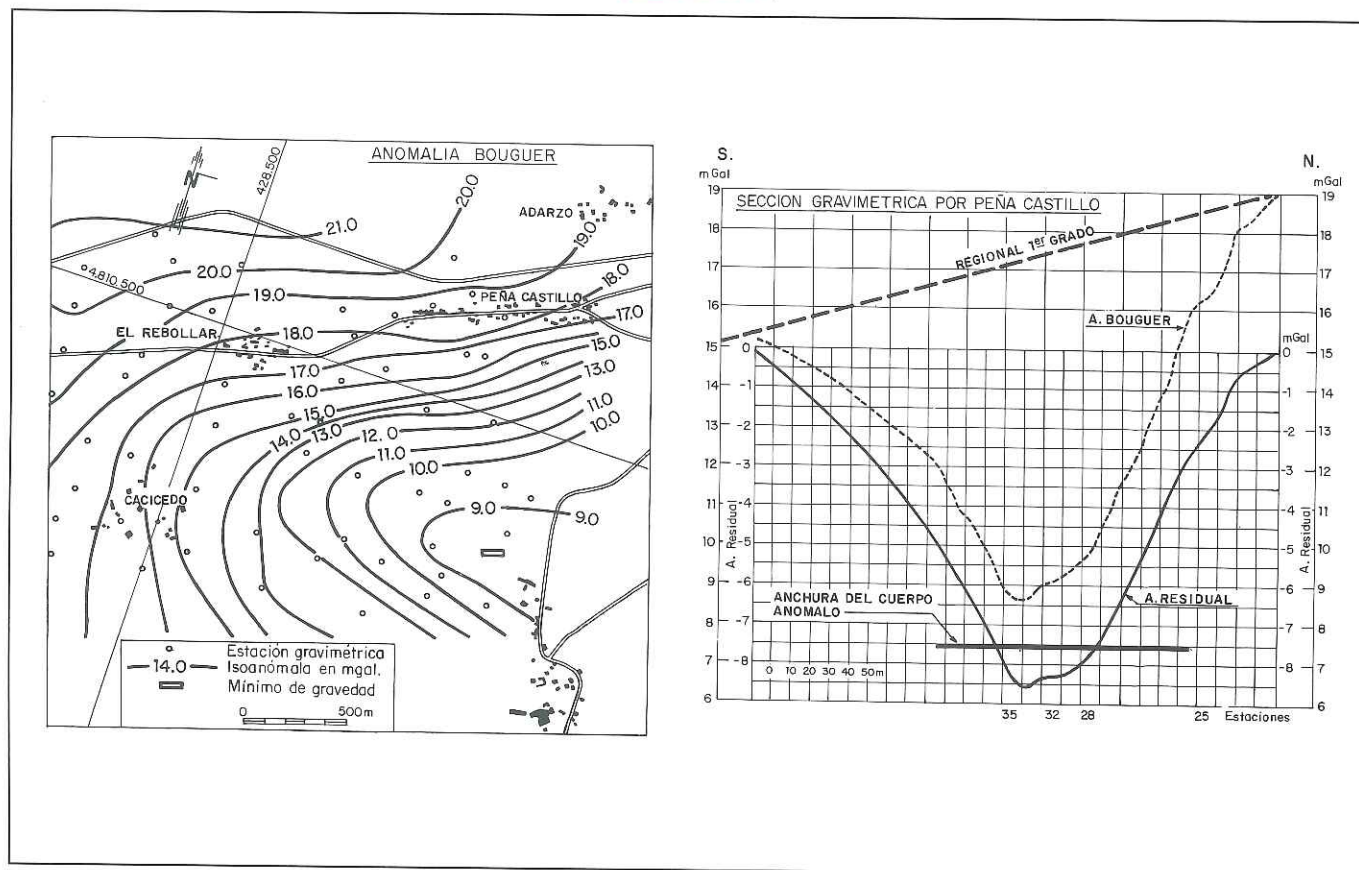


Fig. 8.—Estudio Gravimétrico del Diapiro de SANTANDER

realizado, y, en campañas de detalle, será de malla cuadrada para cuerpos isométricos y rectangular para cuerpos alargados. La distancia entre estaciones de medida será tal que, al menos, tres se sitúen sobre el depósito de mineral.

3. Ejemplos prácticos

A continuación se describen los resultados obtenidos en algunas investigaciones geofísicas de minerales industriales, con métodos elegidos de acuerdo con la filosofía expuesta:

3.1 Caolín

Las fig. 1, 2 y 3 reproducen las columnas litorresistivas obtenidas en relación con depósitos de caolín en ambientes felsíticos (Burela de Cabo-Lugo); graníticos (Burela de Cabo-Lugo y Vimianzo-La Coruña); y sedimentarios (Peñalén Guadalajara), respectivamente.

Tanto los caolines felsíticos como los graníticos son las unidades más conductoras de la columna, lo que permite utilizar el método de resistividades, en las modalidades de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Sondeos Eléctricos Inclinados (SEI) y/o Calica-

tas Eléctricas (CE), para explorar ambos distritos mineros.

En ambientes sedimentarios, el caolín se hospeda en la facies Utrillas, cuya resistividad es intermedia entre la de la formación arcillosa subyacente (facies Weald) y la de los horizontes carbonatados tanto jurásicos, en la base de la serie, como cretácicos, en la parte alta de la columna. Por su lado, en el horizonte portador, la resistividad es diferente sobre caolín y sobre arenas, y, dentro de éstas, varía, a su vez, en función de que estén saturadas de agua o secas. La aplicación de Sondeos Eléctricos Verticales en la zona de Peñalén, decidida a la vista de la columna litorresistiva de la figura 3, ha permitido localizar un cuerpo caolinífero a unos 5 Km. del afloramiento más próximo, cuyas reservas y calidad se evalúan actualmente mediante sondeos mecánicos y análisis de laboratorio (Fernández Alonso «et al» 1992).

3.2 Talco

En la figura 4 se reproduce la columna litofísica obtenida en el distrito talquífero de Puebla de Lillo (León). Como puede verse, ni la susceptibilidad magnética, ni la densidad presentan su-

ficiente contraste entre mineralización y las rocas de su entorno, por lo que los métodos magnético y gravimétrico no son aplicables. Por el contrario, la resistividad del talco es claramente inferior a la de las restantes unidades litológicas, y, en consecuencia, los métodos geoelectrónicos son adecuados para investigar nuevos depósitos, como ponen de relieve las secciones de resistividad aparente de la fig. 5 obtenidas con Sondeos Eléctricos Inclinados y Sondeos Eléctricos Verticales.

3.3 Fosfatos

La columna litofísica de la fig. 6 confirma que la densidad del horizonte con fosfatos de Fontenarejos (Ciudad Real) es superior a la de las restantes unidades litológicas de la zona, mientras que susceptibilidad y resistividad son prácticamente uniformes a lo largo de la serie estratigráfica.

La densidad cumple, por lo tanto, la condición necesaria para que pueda aplicarse el método gravimétrico. Pero, en este caso, debido al reducido espesor del cuerpo mineralizado, y a su disposición espacial, las anomalías de la gravedad no son superiores a la pre-

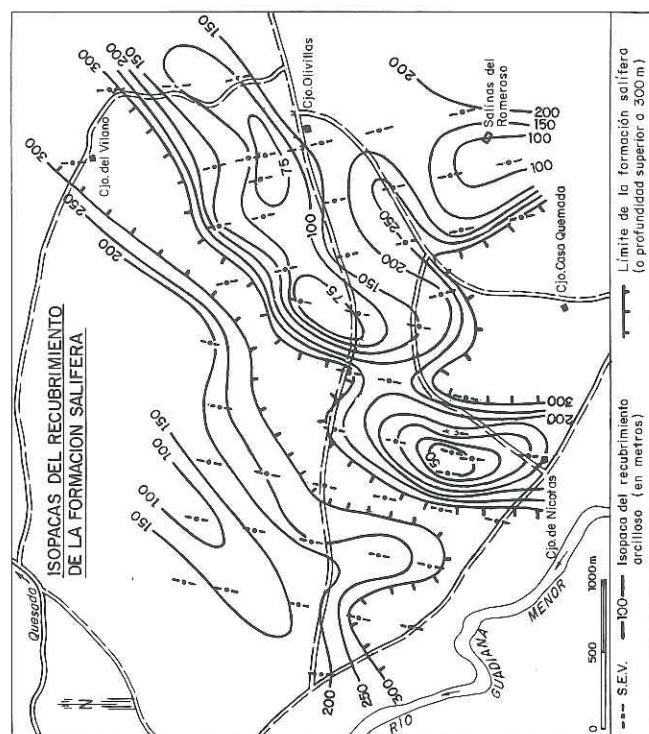
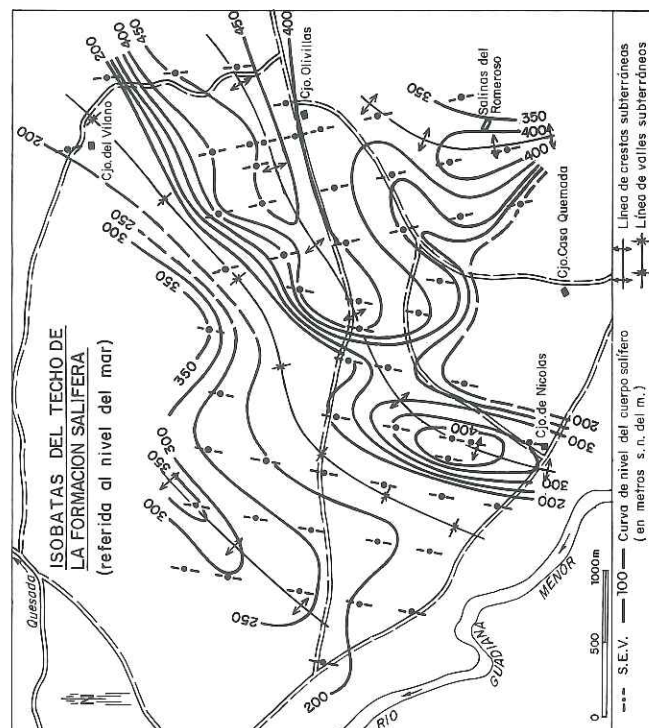
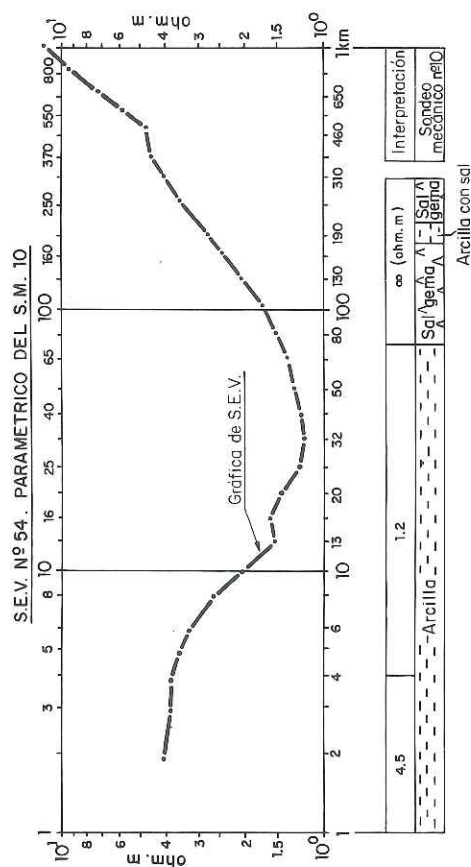
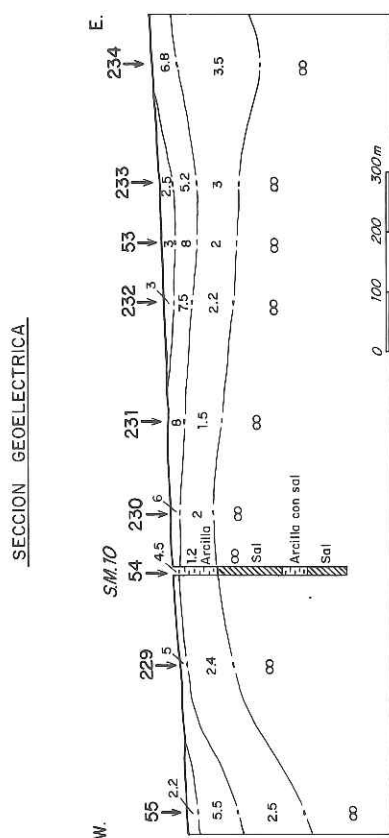


Fig. 9.—Investigación de sal gema en Quesada (JAEN)

	MAGNETO-METRIA	GRAVI-METRIA	SISMICA	RESISTIVIDADES	ELECTRO-MAGNETICO	RADIO-METRICO	POLARIZACION INDUCIDA
AZUFRE DIAPIRICO		○	○				
AZUFRE PIRITICO	○	○		○	○		
BARITA		○		○			(○)
CAOLIN				○			
FELDESPATO				○			
FLUORITA				○			(○)
FOSFATOS		○				○	
GRAFITO				○	○		○
POTASAS		○	○	○			
SAL GEMA		○	○	○			
TALCO				○			
YESO		○		○			

(○) Solo en asociación con sulfuros

Fig. 10.-Métodos Geofísicos aplicables a la localización de algunos depósitos de minerales industriales

cisión del levantamiento (condición de suficiencia), lo que impide utilizar dicha metodología en la exploración de fosfatos.

3.4 Feldespato

La fig. 7 recoge los resultados del Método Eléctrico, en las modalidades de Calicatas Eléctricas y Sondeos Eléctricos Verticales, en una investigación de feldespatos realizada en Haggendorf, distrito de Oberpfalz, Baviera (Alemania).

Las altas resistividades, tanto de CE como de la sección obtenida combinando dicha metodología con la de SEV, junto con la morfología de las isolíneas resultantes, sugieren la presencia de una pegmatita feldespática, confirmada posteriormente con sondeos mecánicos.

3.5 Minerales asociados a facies evaporíticas

Estos minerales, sal gema, potasas, azufre y yeso principalmente, tienen en común su relación con procesos diapíricos para cuya localización da excelentes resultados el método gravimétrico. Los diapiros vienen caracteri-

zados por un acusado mínimo de gravedad, como pone de manifiesto la fig. 8 que reproduce los resultados del estudio del diapiro de Santander.

En muchos de estos depósitos se suele utilizar, como complemento, métodos eléctricos de resistividad (SEV), para conocer la profundidad del techo de la formación salífera o yesífera, como en el caso del yacimiento de halita de Quesada (Jaén) que muestra la fig. 9. En relación con dicho yacimiento, se incluye un gráfico de SEV, junto con su interpretación y la columna del sondeo mecánico realizado en el mismo emplazamiento; una sección geoeléctrica, con la identificación litológica de las diferentes unidades litoeléctricas; y sendos planos de isóbatas del techo del cuerpo salífero y de isópacas del recubrimiento, que ilustran la optimización del estudio geofísico.

4. Conclusiones

Como se confirma en cuanto antecede, los métodos geofísicos desempeñan un importante papel en la búsqueda de depósitos ocultos de minerales industriales, siempre que se apliquen

siguiendo la filosofía aquí expuesta. Dichos métodos representan una fase necesaria dentro de un programa serio de investigación; son el complemento cuantitativo del estudio geológico-minero; y los datos numéricos que suministran deben interpretarse, a su vez, en terminología geólogo-minera.

Como resumen, en la fig. 10 se incluye un cuadro que pretende ser la compilación preliminar de las metodologías geofísicas aplicables, en principio, en la localización de algunos minerales industriales. ■

Bibliografía

- FERNANDEZ ALONSO, F., GONZALO CORRAL, F., FERNANDEZ RUIZ, J. M., MORCILLO OLIVA, J. S. y SAN MIGUEL TIL, F. (1992): «Investigación de caolín en Peñalén (Guadalajara) y Carrascosa (Cuenca)». Actas del III Congreso Geológico de España y VIII Latinoamericano de Geología. Salamanca. Actas Tomo 2 pp. 203-207.

LOS RIESGOS DE LA NATURALEZA Y EL MERCADO ASEGURADOR ESPAÑOL



Luis de Mingo Cachón
(Ingeniero Industrial.
Director Técnico de Mapfre Re.)



M.ª Teresa Piserra de Castro
(Lic. Ciencias Geológicas.
Jefe Dpto. Riesgos de la Naturaleza
Mapfre Re.)



Carlos Busón Buesa
(Geólogo)

En 1991 se realizó en España un estudio con el fin de analizar los posibles impactos que pudieran causar en la sociedad y economía españolas, y en definitiva, supone un paso hacia adelante en la investigación sobre los efectos de los riesgos naturales en nuestro país.

In 1991 a study was carried out to analyze the social and economical impacts on Spain. It is, in fact, a step forward in the research on the effects of the natural risks in our country.

Recientes investigaciones científicas revelan que el riesgo de catástrofes naturales en nuestro planeta es bastante elevado, afectando generalmente a zonas con altas concentraciones humanas y bienes. Un terremoto intenso puede llegar a arruinar la economía de algunos países en breves instantes **Figs. 1, A y B**; las inundaciones y huracanes dejan tras de sí un rastro de destrucción y miseria tristemente conocido.

En consecuencia, algunas compañías internacionales del reaseguro, llevan años analizando las repercusiones de catástrofes naturales en la sociedad. Este artículo da a conocer un estudio pionero que se realizó en España durante 1991 con el fin de analizar los posibles impactos que pudieran causar

en la sociedad y economía españolas, y en definitiva, supone un paso hacia adelante en la investigación sobre los efectos de los riesgos naturales en nuestro país.

En España, hasta el año 1990 las aseguradoras no han necesitado controlar la cuantía y distribución geográfica de las sumas aseguradas por riesgos catastróficos, dado que las indemnizaciones por siniestros de la naturaleza quedaban amparadas por el Consorcio de Compensación de Seguros Español (C.C.S.) dentro de la cobertura de Riesgos Extraordinarios.

A raíz de la aprobación del nuevo *Estatuto legal del Consorcio de Compensación de Seguros* el 19 de diciembre de 1990, el Tomador del Seguro



Fig. 1A.—Efectos del terremoto en la ciudad de México en 1985.



Fig. 1B. -Efectos del terremoto en la ciudad de México en 1985.

tiene la posibilidad de contratar la cobertura de Riesgos Extraordinarios sobre las personas y los bienes con aseguradoras que reúnan las condiciones exigidas por la legislación vigente. Por tanto, el *Consorcio de Compensación de Seguros Español* deja de disfrutar la exclusividad de la cobertura de Riesgos Extraordinarios para permitir la opción de cobertura privada.

Sin embargo, no se tiene constancia de que exista en el mercado español de seguros un trabajo público que oriente técnicamente a los aseguradores y reaseguradores que operan en España, de cara a la suscripción de los riesgos y el denominado control de la acumulación catastrófica.

Fundación Mapfre Estudios, como aportación al mercado y a la sociedad en general, ha patrocinado un estudio de carácter institucional titulado «Estudio Técnico Asegurador sobre Riesgos de la Naturaleza en España» que aquí esbozamos. Esta línea de trabajo fue iniciada en 1991 por un equipo de técnicos y aseguradores de Mapfre, con la colaboración de expertos de Universidades, Institutos de Investigación, Organismos Oficiales y Entidades privadas.

El 9 de octubre de 1991, coincidiendo con el Día Internacional de la Década para la Reducción de los Desastres Naturales, proclamada por la O.N.U., Fundación Mapfre Estudios hizo públicas las primeras conclusiones del Estudio.

El objetivo del estudio fue la recopilación y análisis de la información



Fig. 1C. -Efectos del terremoto en la ciudad de México en 1985.

existente y disponible sobre riesgos de la naturaleza en España, para diseñar un instrumento orientativo y útil a la sociedad por medio de la elaboración de un texto técnico, mapas de peligrosidad y el desarrollo de un programa informático.

Las necesidades fundamentales del sector asegurador y reasegurador frente a los peligros de la naturaleza son:

- Conocimiento de los tipos y características de los peligros de la naturaleza que afectan un área. Zonificaciones.

- Clasificación y asignación de los niveles de peligrosidad y riesgo.
- Cuantificación de la probabilidad de ocurrencia anual y los períodos de recurrencia.
- Criterios de suscripción.
- Establecimientos de Zonas de Control de Acumulación Catastrófica.
- Distribución y manejo de las sumas aseguradas por zonas de control.
- Transferencia de información de sumas aseguradas del asegurador al reasegurador.
- Control e interpretación de estadística histórica.

Conclusiones básicas del estudio

Algunas de las principales conclusiones técnicas a las que se ha llegado son:

1. Existe gran cantidad de información dispersa y heterogénea sobre los peligros de la naturaleza que ha sido necesario recopilar, analizar y adaptar a los objetivos del estudio.
2. El estudio se ha centrado en los peligros de terremoto, inundación y viento, escogidos tras decidir cuáles tienen mayor impacto económico y/o social en nuestro país.
3. Como primera aproximación al estudio de los terremotos se ha concluido que la Península Ibérica se encuentra en un contexto geotécnico de *sismicidad moderada*; por tanto, los terremotos destructores no son muy frecuentes. La máxima intensidad de terremoto esperable en España está entre IX y X y se sitúa sobre la provincia de Granada con un período de recurrencia asignado de 1.000 años (Instituto Geográfico Nacional).

La sismicidad en España se localiza en tres áreas principales: Andalucía Oriental, provincias de Murcia y Alicante, y Pirineos. Las provincias de Huelva, Sevilla, Cádiz y Badajoz pueden resultar afectadas por terremotos con epicentro en Portugal o frente a las costas de Portugal (Fig. 2).

El resto de España se comporta como un bloque cuasi-estable con movimientos tectónicos débiles relacionados con fallas y tectónica local.

4. Las inundaciones constituyen el riesgo natural más importante en España. Hay cuatro zonas perfectamente localizadas donde repetidamente se producen inundaciones con distintos

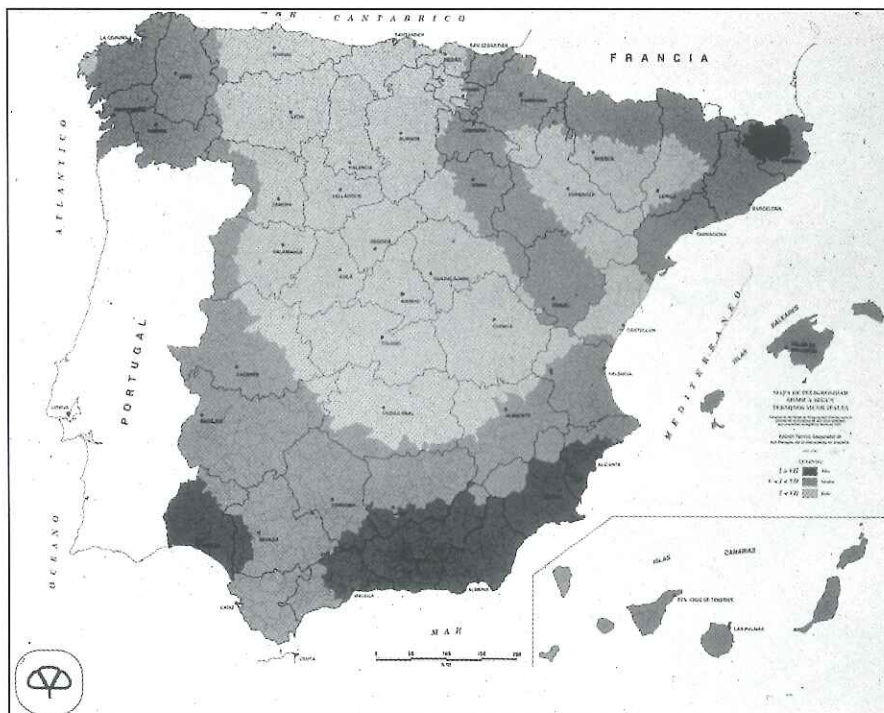


Fig. 2.—Mapa de peligrosidad sísmica confeccionado en el estudio.

períodos de recurrencia: Cataluña, Levante, Andalucía Oriental y País Vasco (Fig. 4).

La confluencia de factores naturales (relieve, clima) junto con factores humanos (ocupación de llanuras de inundación, cierre de vías naturales de evacuación, obstrucciones en los cauces) determinan la gravedad de los efectos de las inundaciones.

5. España no está situada en una zona que pueda ser afectada por los huracanes tropicales. Tampoco está amenazada por los fuertes gradientes de presión derivados de las condiciones atmosféricas normales a lo largo del año. Sin embargo, se producen algunos fenómenos atmosféricos susceptibles de producir vientos violentos, como son:

- Tempestades o temporales: p.e. galernas, levant, vendaval.
- Tormentas: p.e. gota fría, vaguada fría, convección térmica.
- Torbellinos locales: p.e. tornados, trombas marinas.

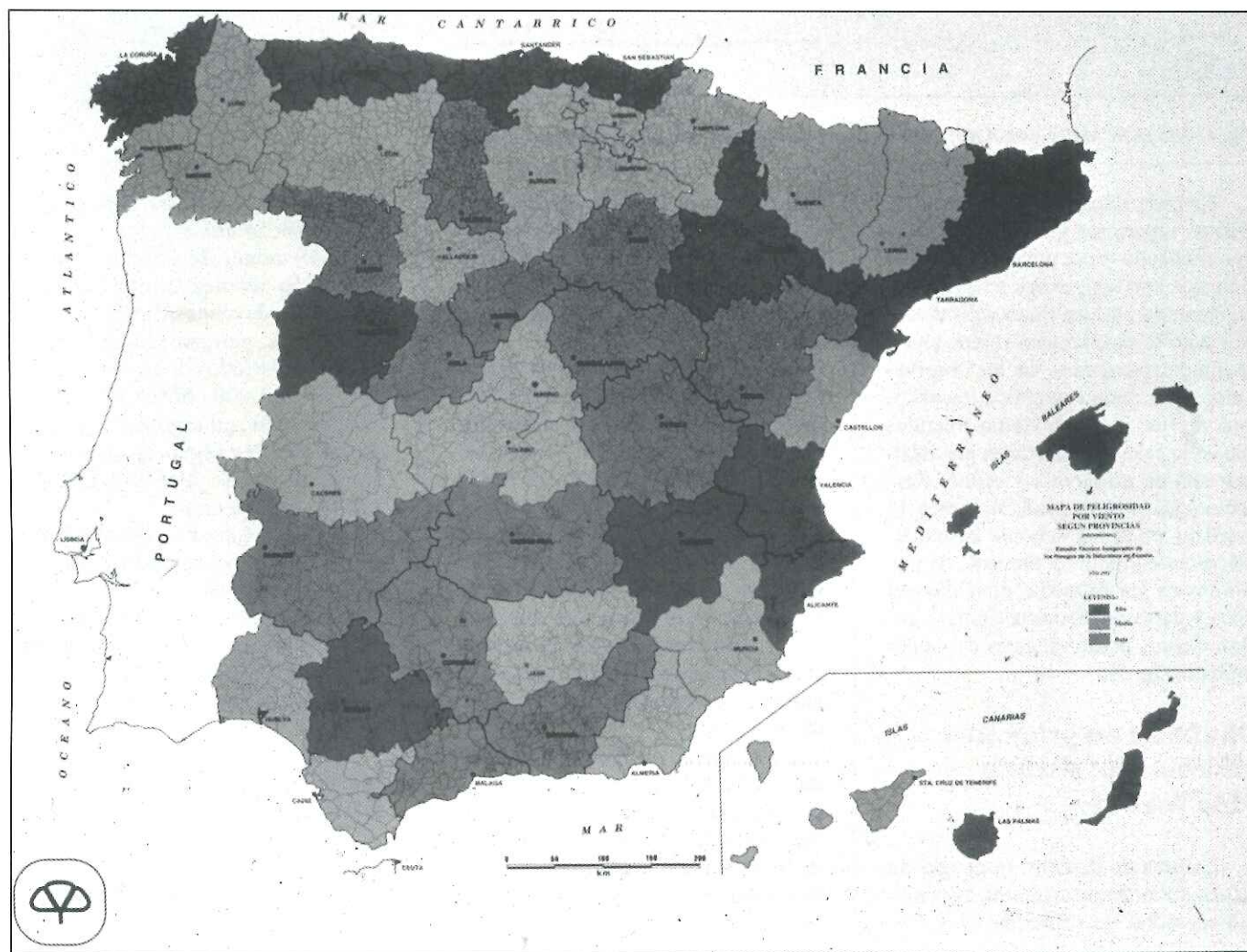


Fig. 3.—Mapa de peligrosidad por vientos huracanados confeccionado en el estudio.

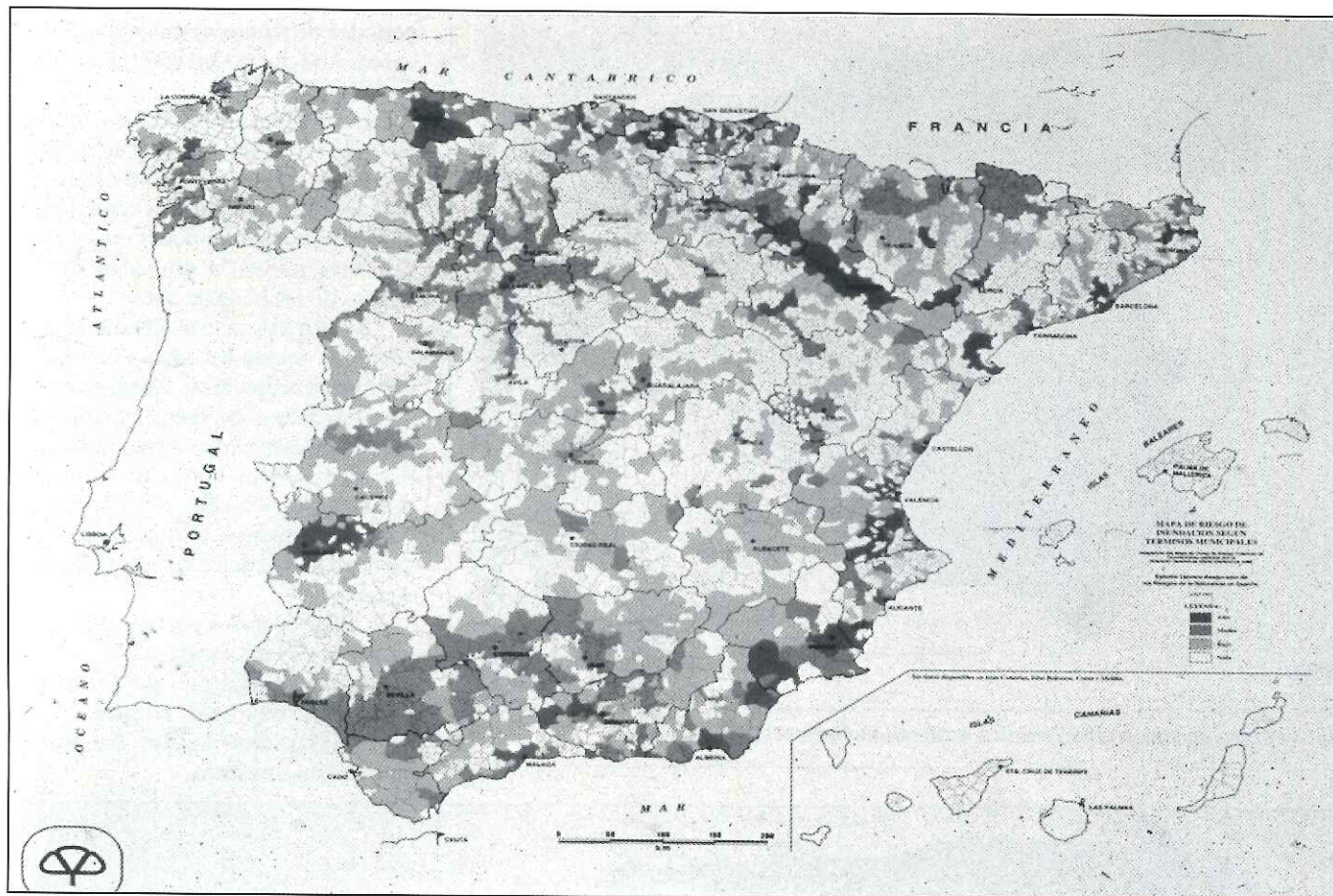


Fig. 4.—Mapa de peligrosidad por inundaciones catastróficas confeccionado en el estudio.

En toda España hay registros de vientos superiores a los 100 Km/h de tipo racheado y poco constante, relacionados con temporales o tormentas. En el interior, las máximas velocidades de viento se producen en verano en relación con tormentas. En los observatorios de la costa cantábrica los máximos se presentan en invierno, mientras que en la costa mediterránea los máximos son en primavera y otoño. Respecto a los vientos predominantes, se localizan en el Estrecho de Gibraltar, noroeste de Galicia y noroeste de Cataluña; en La Mancha, el Valle del Ebro y parte del Sistema Central, soplan vientos predominantes de menor entidad (Fig. 3).

Diseño de un programa informativo: sistema MAPNAE

La idea de diseñar un programa informático de suscripción, surge de la necesidad de relacionar los tres sectores que alimentan el contenido del estudio (la ciencia, el seguro y el reaseguro), mediante una fórmula

operativa que optimice administrativamente la cobertura. Se ha denominado Sistema MAPNAE, que responde a Sistema Mapfre de Análisis de los Peligros de la Naturaleza en España.

Finalizado el proceso de adaptar la información científica sobre terremotos, inundaciones y vientos a los patrones de división territorial escogidos (código postal, nombre de término municipal y código de término municipal) y conocidas las necesidades del sector asegurador y reasegurador, se plantearon los objetivos del programa informático, que fueron:

- Solucionar el problema de la localización geográfica de las sumas aseguradas y distribución en los contratos de reaseguro.

- Conocer, en el ámbito de la cédula mínima de información, el nivel de riesgo o peligrosidad de los fenómenos estudiados, de forma que sirva de referencia en la suscripción, en el momento de conocer el entorno del riesgo.

- Desarrollar una base histórica de eventos catastróficos que contenga los datos fundamentales (fecha,

localización geográfica, descripción, pérdidas económicas, etc.

- Disponer de una base de información técnica por provincias, procedente de mapas de peligrosidad por vientos, peligrosidad por terremoto con períodos de recurrencia de 100, 500 y 1.000 años, nieve, granizo, tormentas, precipitaciones máximas esperables según diferentes períodos de retorno, días de sol al año, y otros muchos datos.

- Esquematizar un sistema orientativo de suscripción y tarificación, para los tres fenómenos.

Actualmente sólo el módulo de asignación de los niveles de riesgo está disponible, mientras que los demás están en fase de programación y desarrollo.

Con este trabajo la Fundación Mapfre Estudios considera haber producido un documento apropiado para cuantos deban tomar decisiones o asumir responsabilidades en la suscripción de riesgos de la naturaleza en España, y deja abierta la puerta a futuras colaboraciones, opiniones y ampliaciones sobre este tema, con el deseo de que todo ello sea útil a la Sociedad en general. ■

ASPECTOS GEOLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS DE LA PLANTA Y VERTEDERO DE RESIDUOS TOXICOS DE SANTOVENIA DE PISUERGA (VALLADOLID)



Luis Fernández Pérez
(Es geólogo y desarrolla su actividad
laboral en la demarcación de carreteras
del MOPT en Valladolid)

El autor cuestiona el emplazamiento elegido, aportando argumentos técnicos sobre aspectos geológicos e hidrogeológicos del emplazamiento de esta planta y vertedero de residuos tóxicos.

The author disagrees with the selected site, supporting his view with technical arguments regarding the geological and hidrogeological features of the selected emplacement for the toxic residues plant and dumping site.

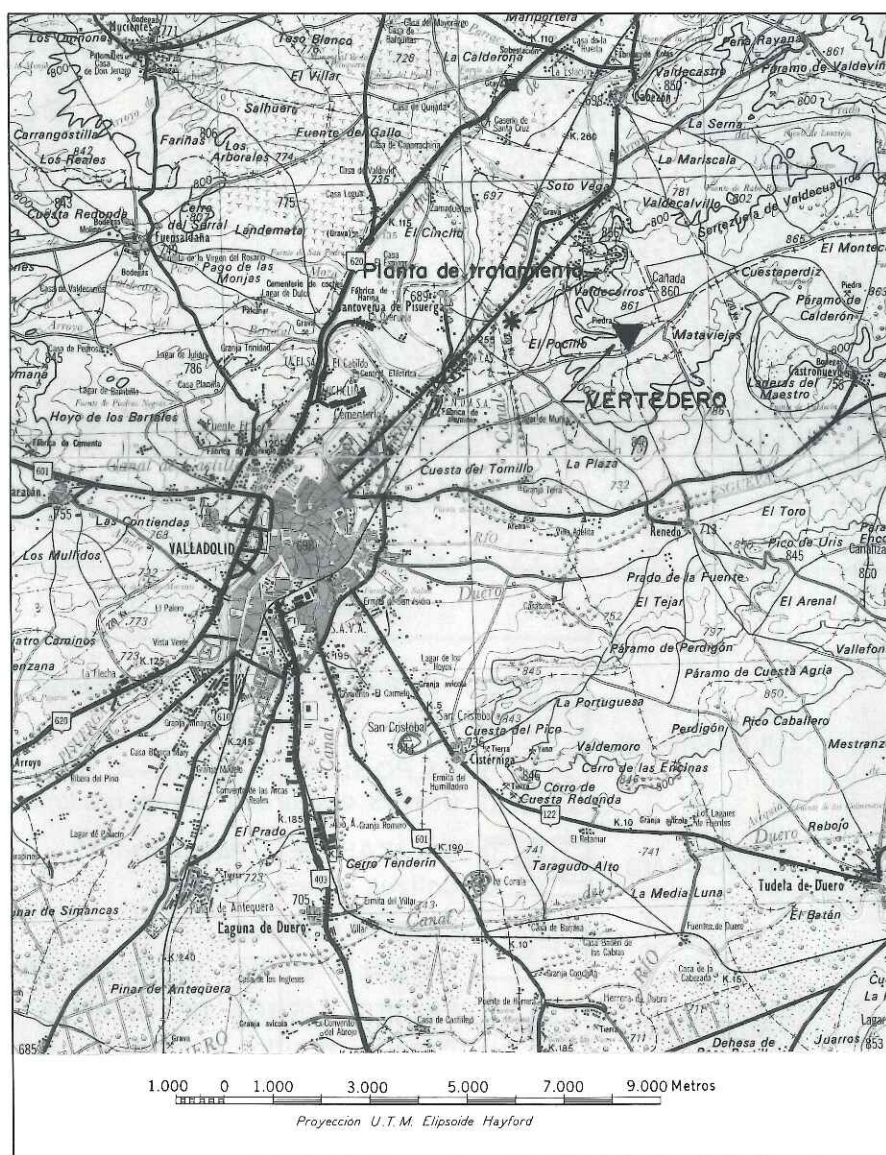


Figura 1. Mapa de situación

1.-Introducción

La empresa CETRANSA, con el apoyo de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León y de EMGRISA, ha

comenzado la construcción de una planta de tratamiento y un vertedero de residuos tóxicos en Santovenia de Pisuerga, a escasos kilómetros de Valladolid.

Como quiera que en los estudios

de selección y caracterización de emplazamientos y en la evaluación de impacto ambiental, no se han considerado los aspectos geológicos e hidrogeológicos o estos se han tratado de forma insuficiente, se ha realizado

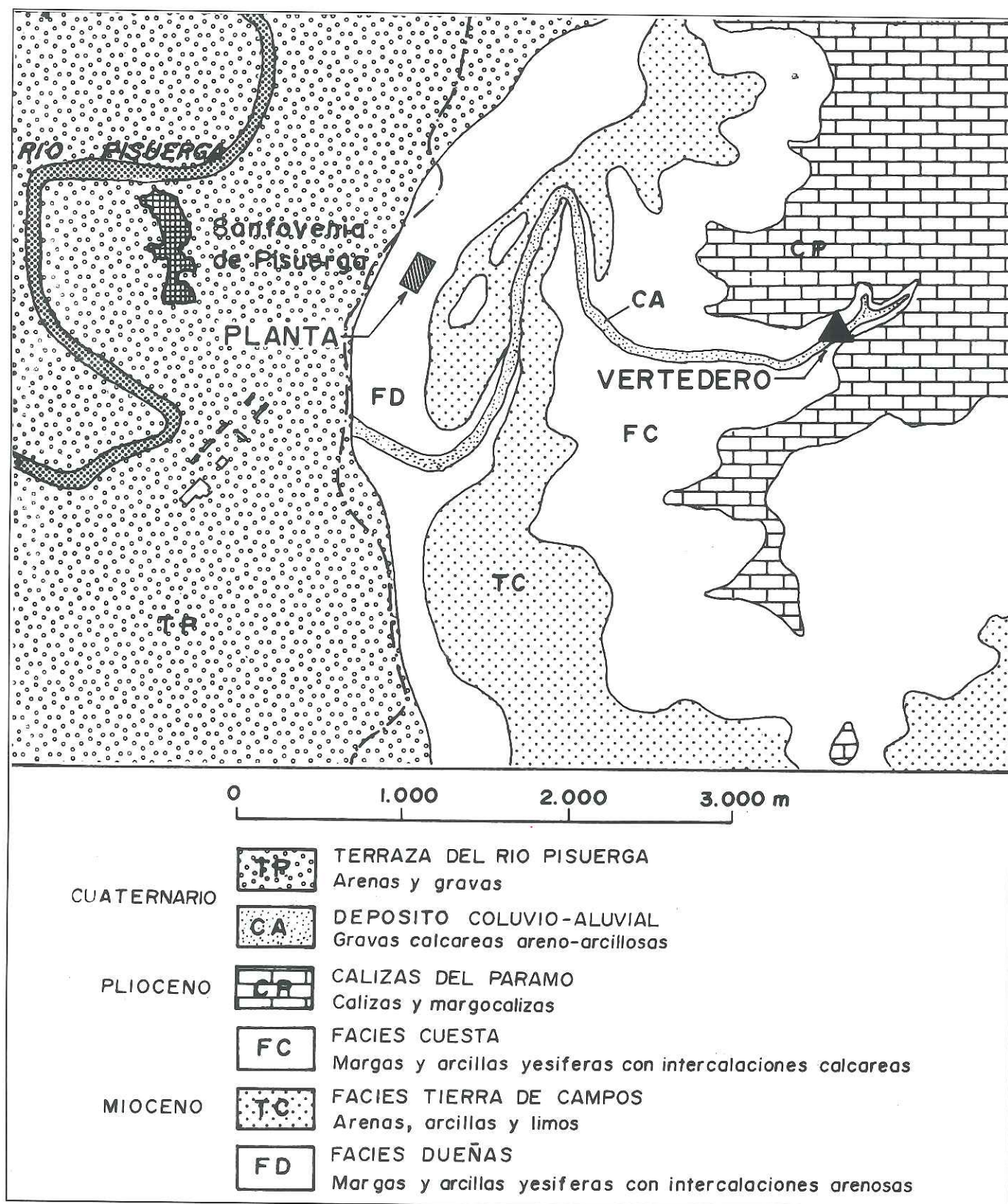


Figura 2. Mapa Geológico

este trabajo donde se aportan una serie de argumentos técnicos que cuestionan el emplazamiento elegido.

La reciente aparición de surgencias y humedades en la excavación del vertedero, viene a confirmar la escasa idoneidad del emplazamiento, así como las deficiencias observadas en el estudio de caracterización hidrogeológica.

2.-Consideraciones previas

Los residuos tóxicos que se generan en los países industrializados constituyen, por su gran impacto sobre el medio ambiente y la salud, uno de los retos más importantes con que se enfrenta la humanidad en el futuro. Su alto potencial contaminante, junto a su persistencia y su carácter acumulativo, aconsejan adoptar especiales medidas de aislamiento que impidan o retarden suficientemente la llegada de contaminación a la biosfera en dosis que representen riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente.

Entre estas medidas, las condiciones geológicas e hidrogeológicas ocupan un lugar destacado, ya que son las únicas que permiten un confinamiento natural a largo plazo de estos residuos, sin que factores extrínsecos hagan peligrar la seguridad de su depósito. Asimismo, juegan un importante papel en las evaluaciones de riesgo que necesariamente han de realizarse en el caso de escape de lixiviados, ya sea por accidente tecnológico o por acción de peligros naturales.

Los estudios de caracterización geológica e hidrogeológica no deberían limitarse sólo al emplazamiento del vertedero o depósito de seguridad, sino también a la planta y depósitos de almacenamiento temporal, debido a que en estas instalaciones pueden producirse escapes accidentales y provocar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

3.-Características de las instalaciones

Las instalaciones proyectadas, actualmente en fase de construcción, se componen de una Planta de Tratamiento y, posiblemente un Almacenamiento Temporal de Residuos (Primera Celda), en Los Barriales, junto a los



Vista general de la planta de tratamiento en Los Barriales. La ciudad de Valladolid se observa al fondo (Septiembre 1992).

depósitos de CAMPSA; y un Depósito de Seguridad, situado a unos 2 Km al Este, en el lugar conocido como Barco Cepeda, sobre el fondo del valle de un arroyo (ver **Figura 1**).

El objetivo principal de la Planta es el tratamiento de residuos industriales mediante procesos físico-químicos, de los que la fase líquida resultante es sometida a depuración y posteriormente vertida al río Pisuerga; mientras que los fangos producidos, junto con los residuos tóxicos susceptibles de vertido directo, se depositarán en una Primera Celda de Recepción, para posteriormente transferirse al Depósito de Seguridad.

4.-Condiciones geológicas e hidrogeológicas

Desde el punto de vista geológico, la Planta de Tratamiento se encuentra situada sobre materiales de las Facies Dueñas (Mioceno), constituidos por margas y arcillas yesíferas, con algunas intercalaciones arenosas. Hacia el Oeste, se desarrollan los depósitos de terraza y aluvial del río Pisuerga.

El Depósito de Seguridad se sitúa sobre depósitos coluvio-aluviales, constituidos por gravas calcáreas arena-arcillosas, que se disponen de forma disconforme sobre margas y arcillas yesíferas con intercalaciones

calcáreas de la Facies Cuesta (Mioceno). Al Este, apoyándose sobre esta formación se desarrollan las Calizas del Páramo (Mioceno Plioceno). En la **Figura 2**, se expresa el Mapa Geológico correspondiente a esta zona, indicándose la situación de las instalaciones.

Hidrogeológicamente, la alta permeabilidad de las Calizas del Páramo y los depósitos de terraza y aluvial del río Pisuerga, originan sendos acuíferos superficiales, de características y funcionamiento hidrogeológico diferentes. Las Calizas del Páramo constituyen un acuífero más o menos aislado que se descarga en los bordes, a través de pequeños manantiales; mientras que los depósitos de terraza del Pisuerga, constituyen un importante acuífero (Unidad Hidrogeológica n.º 12 «Aluviales del Duero y Afluentes»), que se encuentra intensamente explotado, y conectado hidráulicamente con el río, y con otras unidades hidrogeológicas de la Cuenca.

La existencia de depósitos coluvio-aluviales a lo largo del arroyo de Barco Cepeda, da lugar a un pequeño acuífero, con flujo subsuperficial, que puede llegar a alcanzar al río Pisuerga. En época de lluvias, la saturación de este acuífero origina, asimismo, escorrentía superficial hacia el río Pisuerga a través de una zanja de drenaje.



Detalle de las surgencias aparecidas en el fondo de la excavación del vertedero (Septiembre 1992).

5.-Estudio de caracterización hidrogeológica efectuado

A consecuencia de las alegaciones presentadas durante la Declaración de Impacto Ambiental del citado proyecto, se efectuó un estudio de caracterización hidrogeológica complementario, toda vez que el capítulo de Hidrogeología del EIA, no llegaba a una página, ni se había realizado sondeo alguno. La evaluación técnica del mismo, sin embargo, puso de manifiesto numerosas incorrecciones y deficiencias que no sólo no han resuelto las dudas planteadas, sino que incluso cuestionan la idoneidad del emplazamiento.

De forma resumida, las principales deficiencias e incorrecciones observadas son:

- La interpretación geoeléctrica no es adecuada, ya que se diferencian unidades en materiales con resistividades similares y sin características litológicas diferentes, según se deduce de las columnas de los sondeos.

- Los ensayos slug test realizados permiten asignar un valor de permeabilidad, para el sustrato del vertedero, unas 10.000 veces superior al máximo exigido por la CEE.

- No se ha determinado la posición del nivel freático y/o niveles piezométricos, por lo que se desconoce la importancia de la zona no saturada, gradiente hidráulico y dirección del flujo subterráneo.

- No se dan las características hidroquímicas de las aguas subterráneas,

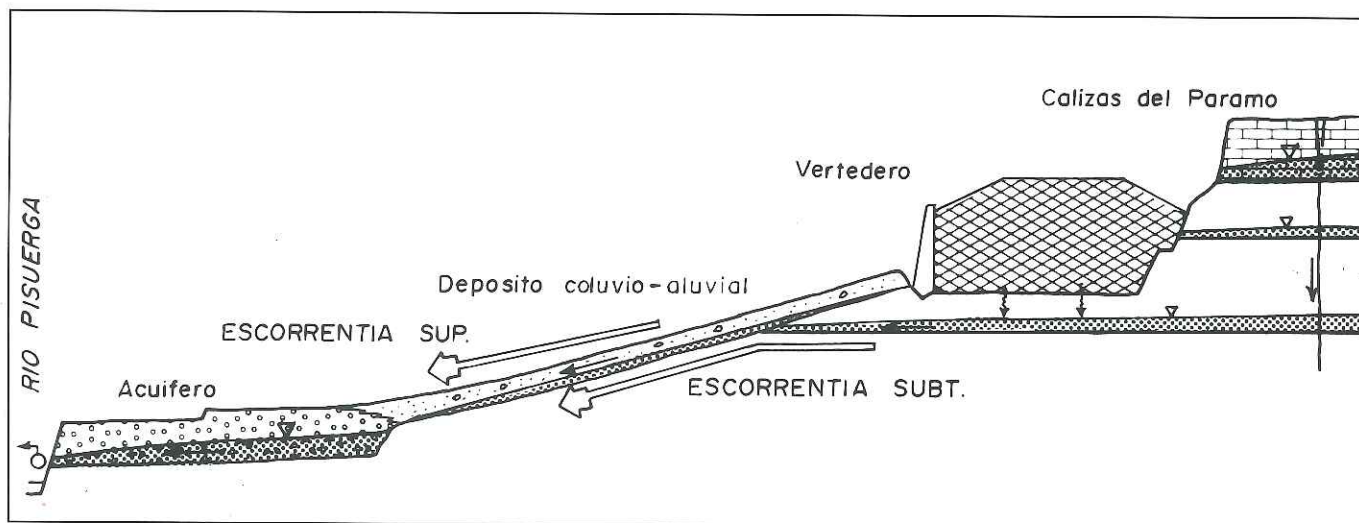


Figura 3. Esquema de conexión hidráulica entre vertedero y acuífero

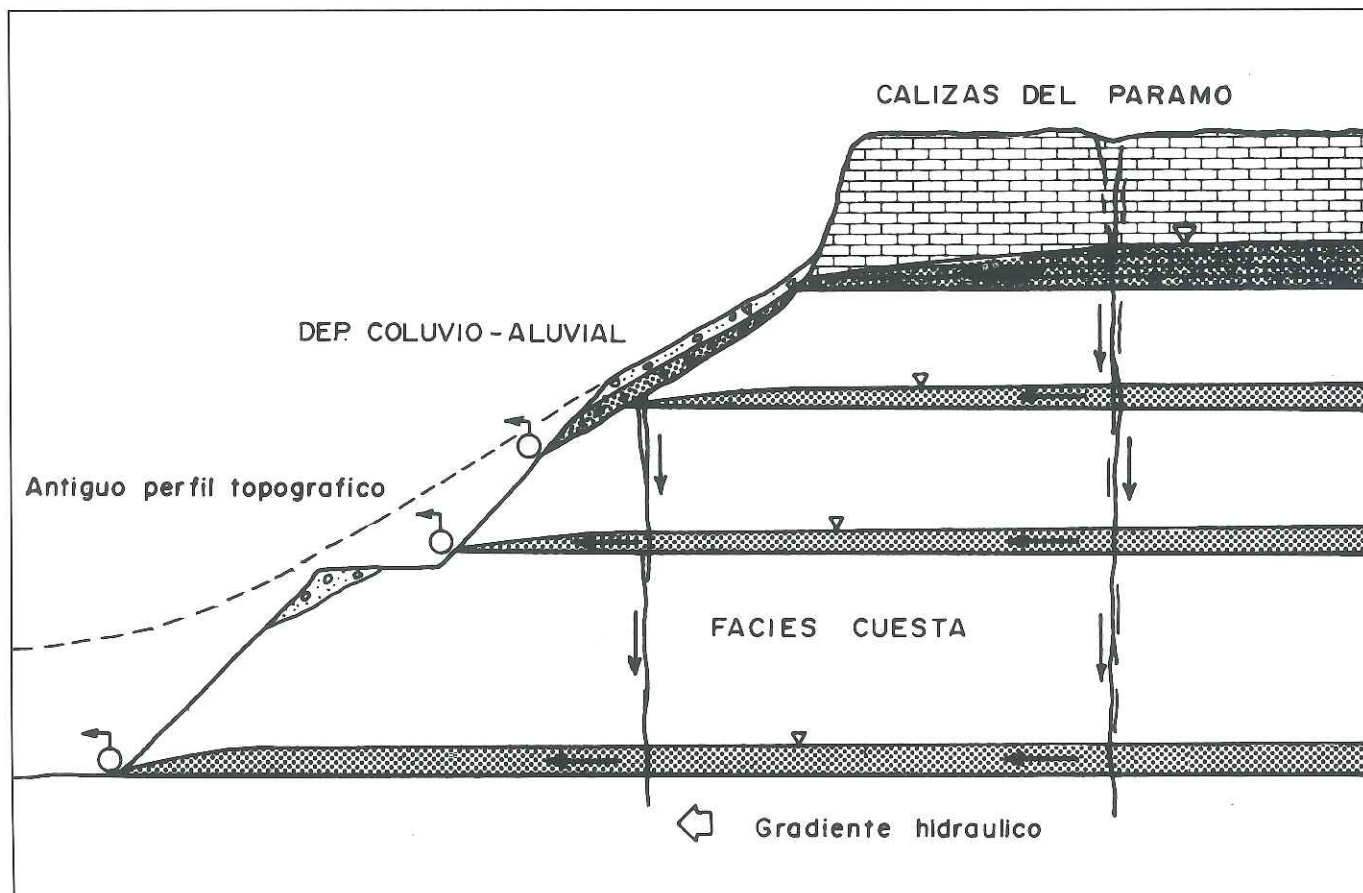


Figura 4. Esquema de funcionamiento hidrogeológico

ni se ha efectuado el inventario de puntos de agua en el entorno del emplazamiento.

– No se considera la posibilidad de conexión hidráulica del vertedero con las terrazas del río Pisuerga, a través de los depósitos coluvio-aluviales del arroyo.

6.-Problemas hidrogeológicos

Planta de tratamiento

En caso de accidente en la Planta de Tratamiento, con escape de sustancias tóxicas, se produciría una contaminación de la Unidad Hidrogeológica n.º 12 «Aluviales del Duero y Afluentes», a consecuencia de la alta vulnerabilidad de este acuífero.

Así mismo, la Planta Depuradora situada junto a la población de Santovenia de Pisuerga y sobre los depósitos de terraza, originaria, en caso de parada o fallo, la contaminación directa del río Pisuerga o del acuífero.

Las repercusiones socioeconómicas y el riesgo para la salud humana que estas circunstancias producirán, serían incalculables, debido a los apro-

vechamientos agrícolas y de abastecimiento que se efectúan tanto en este río como en los acuíferos afectados. La ciudad de Valladolid, con casi 400.000 habitantes y situada a escasos kilómetros de la planta de tratamiento, tal como puede observarse en la **Fotografía 1**, sería el primer núcleo de población en verse afectado en caso de escape de sustancias tóxicas.

Depósito de seguridad

La aparición de humedades y surgencias de aguas subterráneas en las paredes y fondo de excavación del futuro vertedero, constituye un hecho de enorme transcendencia, ya que contradice la supuesta impermeabilidad de los materiales, y confirma las críticas al estudio de caracterización hidrogeológica.

El estudio de las descargas, ha permitido conocer la existencia de niveles más permeables dentro de las Facies Cuesta, representados por margocalizas fisuradas y yesos algo karstificados, a través de los cuales se produce circulación de agua (**Fotografía 2**). El origen de las mismas, podría atribuirse a que el emplazamiento constituye una zona de descarga compleja del acuífe-

ro superficial asociado a las Calizas del Páramo, que permanecía más o menos oculta por los recubrimientos.

En la **Figura 3**, se expresa, de forma esquemática, el posible funcionamiento hidrogeológico en la zona del emplazamiento. A grandes rasgos, este correspondería al de un acuífero multicapa, donde el acuífero superior, asociado a las Calizas del Páramo, sería el más importante y se conectaría con los restantes acuíferos infrayacentes, situados en el tramo superior de las Facies Cuesta, a través de fracturas subverticales que actuarían como zonas de infiltración preferencial. Este flujo vertical sería interceptado por los niveles más permeables, para que finalmente, a su través, acabar descargándose en la excavación. El agua que brota en las zonas basales de los depósitos coluviales, procedería fundamentalmente del acuífero superior.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad del estudio de caracterización hidrogeológica, este tramo superior de las Facies Cuesta que funciona como un acuífero multicapa, puede llegar a tener una permeabilidad de 1,6 E-5 m/s, mientras que el tramo inferior, co-



Septiembre de 1992

responsable a margas sin intercalaciones significativas de calizas y yesos, tendría una permeabilidad mucho más baja ($K = 4 \text{ E-}10$ a $2 \text{ E-}9 \text{ m/s}$). Según esto, el depósito de Seguridad se encuentra sobre materiales con una permeabilidad casi 10.000 veces superior al valor máximo recomendado por la CEE ($K = 1 \text{ E-}9 \text{ m/s}$).

La supuesta desconexión hidráulica entre la zona del emplazamiento del vertedero y los depósitos de terraza asociados al río Pisuerga, no existiría si se considera la posibilidad de que los contaminantes tóxicos se propagaran a lo largo de los depósitos coluvio-aluviales, en vez de a través de las distintas formaciones terciarias de baja permeabilidad.

En la **Figura 4**, se esquematiza cómo se podría producir la conexión hidráulica. Los lixiviados tóxicos que escapan del sistema de impermeabilización del vertedero, percolarían hasta uno de los niveles más permeables de las Facies Cuesta. A continuación migrarían a lo largo del mismo, hasta alcanzar los depósitos coluvio-aluviales que ocupan el fondo del valle. Una vez en el pequeño acuífero asociado a estos depósitos, existirían dos posibilidades: transporte a través de la escorrentía subterránea a lo largo de la zona basal de los depósitos, o a través de la escorrentía superficial del arroyo, hasta alcanzar a la unidad Hidrogeológica n.º 12 y al río Pisuerga.

7.-Problemas geológicos y geotécnicos

El hecho de que en áreas próximas al emplazamiento se hayan producido

colapsos y hundimientos del terreno originados por la disolución de los niveles de yesos existentes en las Facies Cuesta, constituye uno de los riesgos geológicos más importantes a considerar, ya que su ocurrencia originaría la rotura de los sistemas de impermeabilización y drenaje del vertedero, y posterior escape de lixiviados tóxicos al medio hidrogeológico.

Por otra parte, la situación del vertedero en el fondo de un valle, en un área receptora de escorrentías superficiales, podría dar lugar, en el caso de lluvias torrenciales, a que las instalaciones pudieran verse afectadas por una avenida. En este caso, las aguas de escorrentía podrían desbordar la cuneta perimetral, e introducirse en el vertedero, con lo que se produciría su contaminación y posterior colmatación y desbordamiento de las balsas de lixiviados, originándose un peligroso es-

cape de contaminantes tóxicos a través del arroyo en crecida.

Al mismo tiempo, los procesos erosivos asociados a la escorrentía superficial, podrían producir la socavación y erosión del muro de contención de los residuos tóxicos, provocando su rotura y el desencadenamiento de un fenómeno de avalancha que alcanzaría rápidamente al río Pisuerga, situado a tan sólo 4 kilómetros de distancia.

La posibilidad de que se produzcan deslizamientos en los taludes de la excavación es muy elevada debido fundamentalmente a su fuerte pendiente y al incremento de la carga hidráulica sobre los mismos, al no efectuarse drenaje alguno en las descargas de aguas subterráneas existentes. Estos deslizamientos provocarían, entre otros problemas, la rotura de los sistemas de impermeabilización y drenaje, y el posterior escape de lixiviados tóxicos al medio hidrogeológico. La baja estabilidad geomorfológica observada en el emplazamiento del vertedero, ha originado en áreas próximas y en contextos geológicos similares, importantes deslizamientos de laderas, que han movilizado grandes volúmenes de material.

Por último, la presencia de arcillas expansivas en las Facies Cuesta y la posibilidad de que existan zonas blandas asociadas a las humedades aparecidas podrían dar lugar movimientos en la vertical y a asentamientos diferenciales en el cimiento del vertedero y originar, así mismo, la rotura de los sistemas de impermeabilización y drenaje de mismo. ■



Octubre de 1992.

PREDICCION DE TERREMOTOS Y PROTECCION CONTRA LOS MISMOS

Chris W. A. Browitt

Jefe del Grupo de Investigación Sismológica Mundial. Instituto Británico de Estudios Geológicos.

A pesar de que la ciencia de la predicción exacta de los terremotos, está todavía en sus comienzos, es posible aumentar la protección contra los mismos, mediante el cálculo del peligro y programas de capacitación.

Although the precise prediction of earthquakes is yet starting to develop, it is now possible to increase the protection against them, by evaluation of danger and training programs.

Como lo han demostrado una vez más los recientes casos de Turquía y la India, los terremotos pueden causar muerte y destrucción en una escala aterradora.

Sin embargo, es mucho lo que se puede hacer para prepararse y mitigar los más graves efectos de estas catástrofes naturales.

En primer lugar, se puede aumentar la protección determinando la probabilidad de terremotos intensos en diferentes regiones y concentrando en ellas los recursos disponibles. La ciencia de la predicción exacta de los terremotos, que permitiría la evacuación oportuna, está todavía en sus comienzos.

El riesgo de los terremotos depende también de la vulnerabilidad de los edificios expuestos a ellos, considerando también el suelo y el emplazamiento de la cimentación, puesto que ambos afectan en gran medida la manera en que las ondas sísmicas de choque se transmiten a los edificios.

Aunque no se puede reducir el peligro del terremoto en sí, es posible disminuir el riesgo general de muerte y destrucción si se adoptan medidas para reducir la vulnerabilidad de los edificios y la población toma precauciones cuando éste se produce.

Ya sabemos en qué lugares del mundo hay mayor probabilidad de que se produzcan los terremotos más intensos. Sin embargo, para concentrar los recursos limitados en las zonas de un país con mayor riesgo es necesario conocer la pauta de actividad del terremoto con más detalle y cuantificar la probabilidad de que se produzca uno de gran intensidad.

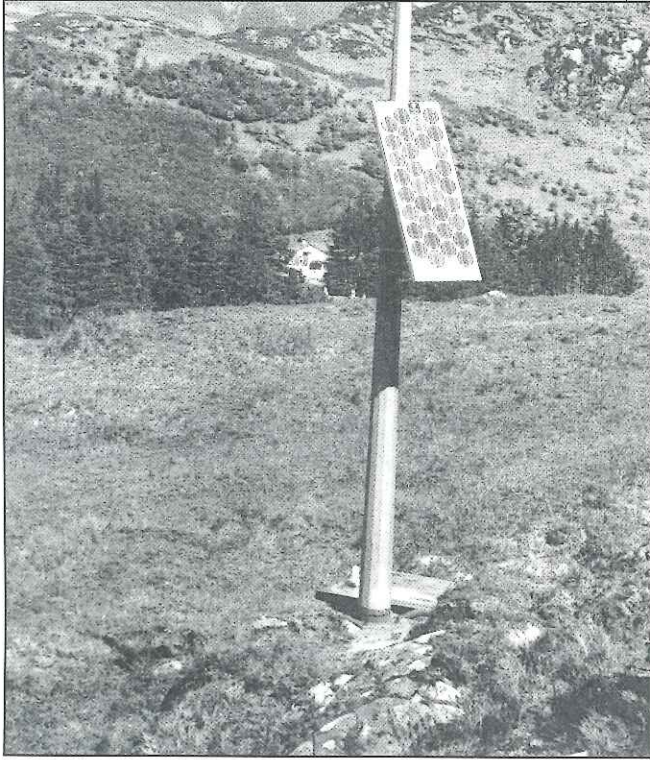
Cálculo del peligro

Ya existe información valiosa en todas las regiones pobladas expuestas al riesgo de terremotos. Parte está en las bases de datos que cubren las últimas décadas de vigilancia mundial moderna, parte en los archivos históricos locales y en la geología y la tectónica de la región. Para que sea útil, habría que estudiar toda la información y calcular el peligro. Esto es aplicable de igual manera a los datos objetivos sobre los terremotos modernos a fin de obtener parámetros focales con la exactitud necesaria, porque el procesamiento del conjunto de los datos a escala mundial raramente es suficientemente exacto o completo para las evaluaciones locales o regionales. Un estudio del peligro en el que se utilice la información existente puede comenzar de inmediato, dar resultados rápidos y beneficiosos y señalar las deficiencias que se han de subsanar con la adquisición de nuevos datos.

Para perfeccionar el sistema de evaluación inicial del peligro, basado en la información disponible, se debe vigilar la actividad sísmica con redes de sismógrafos dotadas de instrumental moderno. Así sería posible:

- * Localizar con precisión la actividad sísmica de la región, identificando la presencia y los parámetros de fallas conocidas y «ocultas» y proporcionando información sobre zonas sismogénicas profundas.

- * Obtener inmediatamente datos sobre los pequeños terremotos, que se puedan utilizar para simular otros más grandes mediante un proceso a escala.



Estación de vigilancia sísmica de energía solar que transmite datos por radio a un observatorio central.

En ese análisis se pueden tener en cuenta muchos de los aspectos inciertos de los efectos locales variables, resonancias, atenuaciones, profundidad y mecanismos focales. A más largo plazo se conseguirá información precisa sobre las intensas aceleraciones del suelo que causan los grandes terremotos.

* Determinar las frecuencias características de la fuente de cualquier fenómeno importante que se pueda producir y construir un modelo de los rasgos distintivos de atenuación de la región, que influyen fuertemente en los cálculos del peligro.

* Determinar las direcciones de la tensión a partir de los mecanismos focales.

* Para los terremotos cuyos efectos se han sentido, establecer una comparación entre los métodos instrumentales y macrosísmicos (informe sensorial) de localización y determinación de la intensidad de los terremotos. Esto permite calibrar el registro histórico, previo al instrumental, en el que se basa también el peligro sísmico.

Peligros secundarios

En la evaluación general hay que tener en cuenta factores geológicos, geográficos y geotécnicos que no están

directamente relacionados con los terremotos o sus causas, pero que constituyen un peligro secundario. El terremoto de México de 1985 fue un ejemplo dramático de cómo, ante la exposición a los terremotos, la geología local puede influir decisivamente en las consecuencias sobre los edificios, los servicios vitales y la comunidad. En este caso, debido a la resonancia del suelo (predecible) en respuesta a un terremoto lejano de gran magnitud, casi todas las pérdidas se limitaron a edificios de seis a 20 pisos con un determi-

nado suelo de cimentación.

De manera más general, hay que estudiar la predicción de los efectos topográficos, la amplificación del movimiento del suelo, la inestabilidad de las pendientes y la licuefacción, junto con las medidas de planificación y técnicas que se han de tomar para mitigar los efectos de tales problemas.

Este aspecto se ha desatendido en todo el mundo. Hay muchas teorías y es necesario elaborar métodos económicos de aplicación en regiones representativas, contrastar las previsiones con las observaciones y, mediante estudios concretos de esos casos, extrapolar los resultados a otras regiones similares. Una gran parte de la población mundial en expansión se encuentra en zonas en las que los cimientos son vulnerables.

En los terremotos, la inmensa mayoría de las víctimas se produce al desplomarse los edificios, y gran parte de las posteriores pérdidas económicas y los trastornos se deben a ello, así como a la interrupción de los sistemas de transporte, abastecimiento de agua, alcantarillado y comunicaciones. Por consiguiente, tras evaluar la probabilidad de un terremoto intenso, se debe hacer una estimación de sus efectos mediante un estudio de vulnerabilidad, a fin de determinar la probabilidad de

que los edificios y estructuras de determinados tipos sufran daños a diferentes niveles de sacudidas. La vulnerabilidad está en función de la resistencia del edificio, su diseño y los materiales utilizados en su construcción.

Método eficaz

Hay muchos aspectos inciertos en la evaluación de la vulnerabilidad de un edificio, pero es necesario hacerla si se quiere utilizar con eficacia recursos limitados. Se debe recordar que, a pesar de que cada vez se tiene más información acerca de los terremotos y de la forma de diseñar los nuevos edificios para que resistan sus efectos, el mayor riesgo lo corren los edificios ya existentes.

Un sistema eficaz de mejorar las técnicas de evaluación de la vulnerabilidad consiste en estudiar detalladamente los efectos de terremotos contemporáneos en la región considerada y en entornos similares de otras regiones. Esto constituye también una prueba de las medidas protectoras previamente tomadas en las zonas de sacudidas fuertes.

En el ámbito de la sismología y de la tecnología de los terremotos, la relación entre «riesgo» y «peligro» se interpreta con la siguiente ecuación:

$$\text{riesgo sísmico} + \text{peligro sísmico} \times \text{vulnerabilidad}$$

Esto significa que si en una zona de gran peligro no hay población ni estructuras no hay riesgo, porque la vulnerabilidad es cero.

Los edificios industriales grandes bien proyectados, los hoteles, las centrales eléctricas, las presas, etc., generalmente se construyen con protección sísmica. Dado que son los edificios comunes los que causan la mayor parte de las víctimas y los que con sus daños afectan seriamente la economía, debido a la destrucción de pequeñas industrias y de infraestructura, es necesario encontrar métodos y programas educativos que permitan:

* La construcción —y reconstrucción tras un terremoto— de casas que resistan mejor las próximas sacudidas.

* La modernización de los edificios vulnerables existentes.

En ninguno de los dos aspectos se ha realizado mucha investigación, ni tampoco se han aplicado métodos conocidos para preparar mejor a la población.

Pronósticos más exactos

Aunque la evaluación del peligro constituye una forma rudimentaria de pronóstico, se está intentando predecir el lugar, el momento y la magnitud de un terremoto dentro de unos límites que permitan evacuar la población, cerrar escuelas y fábricas, tomar precauciones con los suministros de electricidad, gas, productos derivados del petróleo y agua, y alertar a los servicios de emergencia. Esto está resultando muy difícil. El único terremoto importante que se consiguió realmente predecir fue el de Hai-cheng, China, en 1975, en el que se evacuó a la población poco antes de que se produjera. Sin embargo, no se pronosticó 18 meses más tarde el de Tangshan, en el que perdieron la vida más de 500.000 personas.

En algunas zonas expuestas a los terremotos, sobre todo a lo largo de los bordes lineales simples de las placas, se pueden observar huecos donde no se ha producido recientemente un terremoto fuerte. Puesto que el aumento de la deformación a lo largo del borde es prácticamente uniforme, la identificación de estos huecos es una forma de predecir terremotos, intermedia entre el método de la probabilidad del peligro y los intentos por conseguir una predicción más definida.

Debido a su comportamiento cíclico aparentemente único, se está estudiando una sección de la falla de San Andrés, en Parkfield, California, como el lugar más probable para encontrar fenómenos precursores y perfeccionar las técnicas de predicción. Entre otros, se están buscando cambios en las pautas de los terremotos de baja intensidad, la deformación de la corteza, el flujo de agua y los campos eléctricos y magnéticos.

Investigación de las ondas transversales

Desde el gran terremoto del sur de California de 1857, se ha producido una serie de terremotos de intensidad moderada (alrededor de 6,2 en la escala Richter) en el segmento de Parkfield, con una regularidad de casi 22 años.

La predicción de los terremotos se está investigando en varios otros países, entre ellos Japón y Turquía. En el Reino Unido, el British Geological Survey (BGS) (Instituto Británico de Estudios Geológicos), está perfeccionando técnicas para interpretar la información transmitida a las ondas

transversales cuando atraviesan una zona de preparación para los terremotos, en la que los cambios de tensión afectan las fisuras y la distribución de los fluidos en las rocas que son anisótropas para las ondas transversales.

Mientras que de la investigación para la predicción determinista de los terremotos se obtendrán beneficios a largo plazo, la evaluación del peligro y de la vulnerabilidad (incluida la investigación de los efectos secundarios), junto con el perfeccionamiento de técnicas para reducir de una manera económica el riesgo para los edificios existentes y los servicios vitales, tienen un mayor efecto a corto plazo. La predicción de un terremoto en las Filipinas, por ejemplo, puede ofrecer sólo una ventaja marginal si la vida de la población se arruina económicamente de todas formas por la destrucción de los edificios comerciales, los puentes y las carreteras.

Programas de capacitación

En las comunidades con nueva construcción, son necesarios la reparación y el reforzamiento en pequeña escala de los viejos edificios y programas de capacitación local en los que figuren métodos de resistencia a los terremotos. Para que tengan éxito estos programas se debe tener en cuenta la cultura y los materiales locales y el nivel muchas veces bajo de alfabetización y educación de los participantes.

Independientemente de las medidas técnicas y de planificación, los individuos pueden hacer mucho antes, durante y después del terremoto para reducir sus consecuencias. Por ejemplo, cerrar los pasos del agua, del gas y de la electricidad, tener una linterna, vigilar que no haya objetos pesados en estanterías, sujetar los objetos pesados que puedan volcarse, aprender a prestar primeros auxilios y practicar ejercicios de salvamento.

Al producirse un terremoto, la población debe vigilar la caída de objetos, alejarse de las ventanas, espejos y chimeneas y no salir automáticamente corriendo hacia afuera. Los que estén afuera, deben mantenerse alejados de edificios y cables eléctricos. Inmediatamente después del terremoto, se debe comprobar la existencia de incendios, controlar y cerrar el paso de los servicios (si no se había hecho antes), no utilizar llamas desnudas, evitar los cables eléctricos, limpiar a fondo las sustancias

venenosas o los materiales nocivos que se hayan derramado, conseguir un abastecimiento de agua de emergencia y comprobar el alcantarillado. Hay que evitar los edificios dañados por el peligro de los temblores secundarios, y las zonas marítimas por la amenaza de oleaje sísmico (tsunami).

Experiencia británica

Los sismólogos británicos estaban en la vanguardia de la investigación sismológica en el siglo pasado y en los comienzos de éste, cuando Richard Oldham dedujo la estructura general del interior de la Tierra utilizando los registros de la primera red mundial de estaciones sismométricas que estableció Milne con el apoyo de la Asociación Británica.

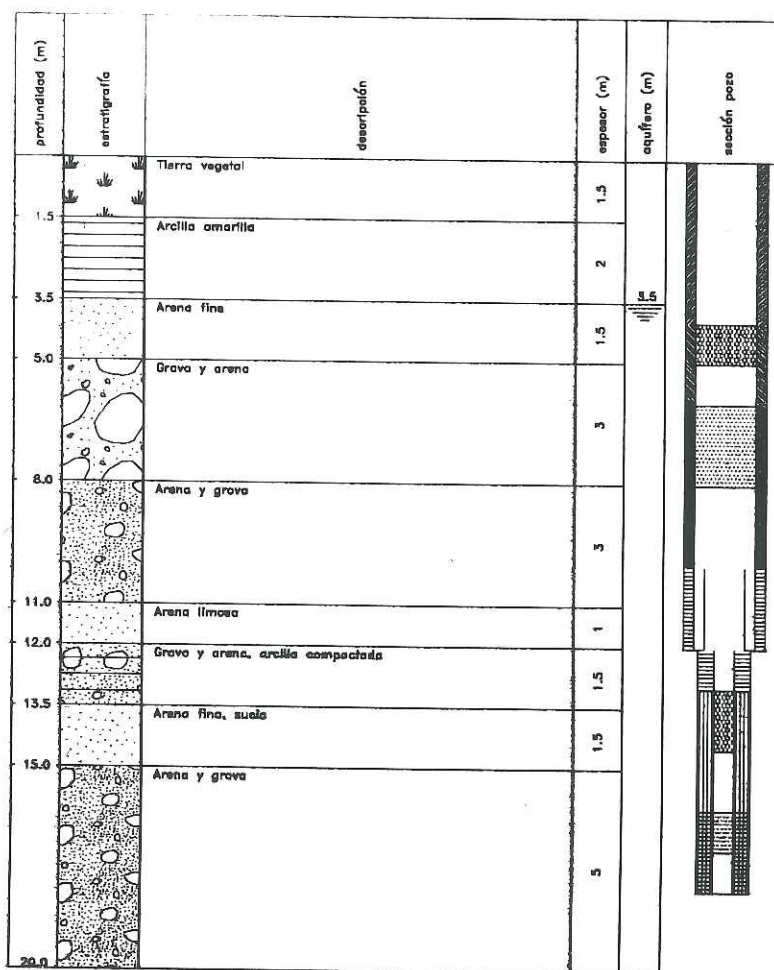
Los conocimientos técnicos se han mantenido en instituciones como el BGS, el Imperial College y las universidades de Durham, Cambridge, Edimburgo, Leeds y East Anglia. La tecnología relativa a los terremotos ha evolucionado y adquirido más cohesión con la industria británica de la construcción, adoptando nuevas técnicas en sus mercados en el extranjero.

En la investigación, el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas ha financiado un programa de cinco años para impulsar el aspecto técnico, en el marco del cual hay instituciones establecidas como centros especializados en aspectos complementarios de los estudios, entre ellas las universidades de Bristol, Cambridge, Glasgow, Londres y Nottingham.

A través del Instituto de Ingenieros Civiles, la Sociedad para la Dinámica de los Terremotos y la Ingeniería Civil ha servido de tribuna a expertos en los campos sismológico y técnico. Su «guía de afiliados» es un registro detallado de la competencia británica en este sector. Aunque no se haya citado aquí, la Sociedad de Investigación Arquitectónica de Cambridge es una de las más importantes en el estudio de los problemas de la vulnerabilidad y la protección de la comunidad.

Son numerosos los profesionales que contribuyen al Equipo de Investigación de Tecnología Sísmica del Reino Unido, que trata de extraer enseñanzas de los efectos de los terremotos importantes de todo el mundo y difundir esos conocimientos en toda la comunidad sismológica y técnica. (19D592/DW). ■

Obra: ZARAGOZA EST	
Sondeo: SZe 14	
CLIENTE: Iber Proyectos	SONDEO: Z19
OBRA: Zaragoza Nord	FECHA: 23/09/93
TIPOLOGIA: 100 mm	AQUIFERO: Libre



DBSOND

Programa para el almacenamiento y la restitución gráfica de sondeos. Puede ser utilizado para la redacción de estratigrafías con datos de tipo geológico, geotécnico, geomecánico, permitiendo una gran libertad al usuario para producir elaborados totalmente personalizados. Incluye más de 30 retículas geológicas que pueden ser ampliadas y/o modificadas. Permite además realizar perfiles sobre los cuales se reproducen las columnas litoestratigráficas, eventualmente complementadas por datos adjuntos que el programa extrae automáticamente de los archivos existentes.

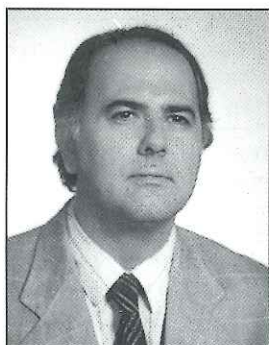
Pídanos el catálogo y un demostrativo gratuito llamando a los números indicados.

geo&soft
international

C/ Llacuna, 162 M208 08018 Barcelona Tel 93 401 98 29 Fax 93 401 96 99

APUNTES HISTORICOS SOBRE LA MINERIA Y LA METALURGIA ANTIGUA DEL SURESTE PENINSULAR

II.-Del comienzo de la explotación de canteras y de la minería metálica durante el Neolítico al dominio del laboreo minero y de la orfebrería argárica (Vº a IIº Milenio a. de C.)



Manuel Rolandi Sánchez-Solís

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense en el año 1976 y Director de la revista TIERRA Y TECNOLOGIA desde su fundación en 1991, es autor de diversos trabajos de investigación histórica sobre la minería antigua del sureste peninsular, entre los que cabría destacar el libro «LOS MASTIENOS: EL PUEBLO CRISOL DE LA CIVILIZACION OCCIDENTAL» (Cartagena 1991).

Entre el período comprendido entre el Vº y el IIº Milenio a. de C., en el sureste español se produjo un proceso de evolución continuada desde una economía primitiva basada en la caza y en la recolección hasta otra de producción y sedentaria, con la proliferación de poblados fortificados y el desarrollo de la agricultura, la explotación de canteras, el laboreo de minas y el dominio de la metalurgia del oro, la plata, el cobre y el bronce.

En este período se desarrollaron en la zona dos grandes culturas que tuvieron una enorme influencia en el resto del territorio peninsular e incluso de la Europa meridional, como fueron las culturas «Almeriense» y de «El Argar», durante las cuales se dominó el arte de la explotación de las abundantes minas de la zona y se descubrieron las técnicas de fusión de los metales, de sus aleaciones simples y, sobre todo, y por primera vez en el territorio peninsular, las primeras aleaciones de cobre y estaño para conseguir el bronce verdadero.

A process of continuous evolution from a primitive economy based on hunting and harvesting to an economy based on production and sedentarism, which produced the proliferation of fortified villages, the development of agriculture, stone quarry exploitation, mining work, and the control of gold, silver and bronze metallurgy, took place during the period between the Fifth and Second millennium B.C. in the Southeast of Spain. During this period two important cultures emerged that had a great influence in the rest of the peninsular territory and even in Southern Europe. These are known as the «Almeriense» and the «Argar» cultures, and during this period the control of the art of exploitation was achieved in the abundant mines of the zone, as well as the discovery of different metal fusion techniques and their simple alloys. However, the most outstanding event was that for the first time in the peninsular territory the copper and tin alloys were obtained in order to get the true bronze.

1.-Introducción: El proceso de neolitización en el sureste español

El umbral que separó la etapa Magdaleniense (Paleolítico Superior final) de los comienzos del Neolítico, y que podría situarse cronológicamente en los alrededores del 9500 a. de C., no se produjo en el sureste peninsular, y al igual que en el resto del mundo mediterráneo de la época, de una forma brusca y repentina, sino que, lógicamente, respondió a un proceso de evolución continuada, que se desarrolló desde un modelo de economía de caza y de recolección hasta otro basado en una economía de producción, en el que, muy probable-

«Hacia el 9500 a. de C. dio comienzo en el sureste peninsular un proceso de evolución continuada, que se desarrolló desde un modelo de economía de caza y recolección hasta otro basado en una economía de producción...»

mente, los cambios climáticos jugaron un destacado papel.

Esta fase de transición de final del Paleolítico al Neolítico no supuso únicamente, como en casos anteriores durante el Paleolítico, la aparición de unas nuevas técnicas y formas en la elaboración de los útiles de uso cotidiano, como fue el caso de la piedra pulimentada, sino que el verdadero y significativo proceso de cambio vino definido por el establecimiento de una nueva relación, hasta entonces desconocida, entre el hombre y el medio natural que le rodeaba.

Se produjo un verdadero y profundo cambio de las bases de la economía precedente, que varió desde una economía esencialmente recolectora y de supervivencia, en la que el hombre paleolítico estaba sometido, por sus necesidades básicas de alimentación, a desplazarse continuamente para vivir de la caza, la pesca y la recolección de frutos silvestres, sin preocuparse de su reproducción y acumulación, a una economía de producción, en la que el hombre, por primera vez en su historia, y ante el empeoramiento de sus condiciones de vida como resultado de las modificaciones climáticas del período postglacial y Allerod, comenzó a controlar sus fuentes de recursos, desarrollando un sedentarismo y una capacidad previsora, ante posibles adversidades. Es el momento histórico de la aparición de la agricultura y el pastoreo, de la construcción de poblados fortificados, de la explotación de canteras y del comienzo de la minería metálica y de la metalurgia, así como de otros logros que permitieron al hombre comenzar a controlar su medio natural y definir unas nuevas formas de hábitat que desembocarían en las importantes culturas del «Vaso Campaniforme», «Almeriense» y «Argarica», motivo principal de esta publicación.

2.-Primeros yacimientos del Neolítico inicial en el sureste peninsular

En la costa mediterránea peninsular las primeras manifestaciones del proceso de neolitización aparecen hacia el Vº milenio a. de C. (coincidente con el período geológico Holoceno y climático del paso del Boreal al Atlántico) en forma de primitivas piezas cerámicas impresas (especialmente car-

dial), junto con los primeros síntomas de una rudimentaria agricultura y domesticación de animales.

En estas primeras etapas, lógicamente, todavía no se había alcanzado una verdadera economía de producción en el sentido de acumulación de excedentes, correspondiendo únicamente a una producción mínima para satisfacer las necesidades familiares más inmediatas, como así se desprende del ta-

los o cuevas, con la excepción del de Arenal de la Virgen, y Casa de Lara (cuenca endorreica de Villena, Alicante), que constituye un poblado de llanura donde se alternaba la caza con la recolección de gramíneas.

Los principales yacimientos arqueológicos de este período inicial del Neolítico, así como los aspectos más destacados de los mismos, se reflejan en el **cuadro n.º 1**.

CUADRO N.º 1

PRINCIPALES YACIMIENTOS DEL NEOLITICO INICIAL

YACIMIENTOS	INDUSTRIA Y OBSERVACIONES
Cueva del Búho (Mula, Murcia)	– Cerámicas lisas, pequeño cuenco con restos de ocre, fragmentos de hachas toscamente pulimentadas.
Corveta de L'Or (Muro de Alcoy, Alicante)	– Especies cultivadas de trigo carraón, trigo candeal, trigo almidonero y cebada, datados con radiocarbono entre 4560 y 4315 a. de C.
Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia)	– Cerámicas lisas, cerámicas impresas no cardial y cardial, datados del 5250 a. de C.
Cueva de Los Pájaros (Cartagena)	– Cerámica incisa decorada con motivos en Zig-Zag y borde con muescas, datadas por similitud entre 4300 y 4075 a. de C. moluscos marinos y terrestres, fragmentos de hueso y un molar équido e industria lítica de útiles de sílex.
Cueva de los Mejillones	– Similar a la de los Pájaros.

maño de los almacenes o silos de grano localizados o al número de animales domesticados, aunque sí es muy posible que existieran intercambios de recursos entre diferentes grupos productores, hecho que ya se venía produciendo, aunque a otro nivel, desde el anterior período Paleolítico.

En estos primeros yacimientos, a los antiguos rasgos culturales epipaleolíticos van incorporándose algunos elementos nuevos, ya típicamente del neolítico inicial, como son los microlitos geométricos, las puntas de flecha de retoque paralelo bifacial, restos de cerámica de formas globulares y generalmente lisas, cerámica cardial, taladros, sílex denticulares, elementos de adornos, brazaletes pulimentados, hachas, azuelas y alisadores. En resumen, se trata de un típico estado de transición evolutiva de dos culturas, en la que aparecen ya nuevos elementos neolíticos mezclados con viejas tradiciones líticas del Paleolítico superior.

La mayor parte de estos yacimientos suelen aparecer todavía asociados a hábitats en el interior de abrigos roco-

3.-El yacimiento de Cabo Cope (Aguilas, Murcia): Típico exponente de un hábitat costero del Neolítico

El yacimiento de Cabo Cope (Aguilas), descubierto recientemente (1984) debido, fundamentalmente, a su dificultad de acceso (está situado en una cornisa a unos 20 m de altura de un acantilado costero), ha aportado un importante cúmulo de información sobre la evolución de las líneas de costa en la zona, los modelos de hábitat y el tipo de economía desarrollado por sus distintos habitantes a lo largo del Neolítico.

El sector donde se encuentra ubicado Cabo Cope, ha sido ampliamente estudiado geológicamente por R. Montes y R. Solís, y la cueva, en concreto, corresponde a un proceso erosivo del agua de la lluvia sobre las calizas del Lías Alpujarride, que creó una complicada red de galerías que se han visto inundadas y desecadas en diferentes

períodos como consecuencia de los cambios del nivel del mar a lo largo del Pleistoceno y, más lentamente, durante el Holoceno.

La antigua franja costera existente fue cubriéndose de agua con los avances paulatinos de la transgresión marina iniciada al finalizar la última glaciación (Würm IV, hacia el 13.000-10.000 a. de C.).

La cueva parece ser que fue habitada hasta finales del III^{er} milenio a. de C., en que comenzó a ser invadida en parte por el mar, correspondiendo los restos localizados, por consiguiente, a un período anterior que podría situarse en torno al 4.000 a. de C., en el que el nivel del mar estaba situado a unos 8 m por debajo del actual.

Los primeros restos encontrados se localizan a 6 m por debajo del nivel del mar actual, y corresponden (según M. Walker) a un cráneo de un individuo con una edad de entre 3 y 5 años, y a huesos de un varón entre 14 y 22 años, junto con 25 fragmentos de cerámica a mano sin decoración, que procedían de vasijas recubiertas con desengrasante de pizarra y micaesquistos. También se localizó un fragmento de Vaso abierto y diversa industria lítica, como una azuela de pórfido y un molino de mano alargado.

La cueva de Cabo Cope constituye, hasta la fecha, uno de los escasos exponentes del Neolítico tardío en la zona, al que muy próximamente podrían incorporarse los resultados de excavaciones actualmente en estudio, como las de la zona de Cabo Palos (Cuevas de los Mejillones, Los Pájaros y La Higuera), el taller de sílex del Neolítico final de Rambla Salada (Fortuna, Murcia), la cueva de los Tiestos (Jumilla, Murcia) y la cueva de Montgó (Javea, Alicante).

4.-Período Eneolítico, Calcolítico o Edad del Cobre: Al abandono de las cuevas y refugios rocosos y la aparición de los primeros poblados y de la metalurgia del cobre

El período Eneolítico ha sido definido por los arqueólogos y antropólogos como el momento proto-histórico en el que las formas de vida neolíticas se ven completamente implantadas, y en

el que se alcanza ya una economía plenamente de producción, que permite un aumento importante de la población, con la consiguiente expansión hacia zonas no ocupadas con anterioridad, y el abandono de las cuevas y refugios rocosos como lugar de hábitat

blado de los Millares (Almería), excavado por el ingeniero belga E. Siret y posteriormente por Arribas, en la zona de estudio se han descubierto y estudiado ocho poblados fortificados, cuya distribución y principales características se indican en el **cuadro n.º 2**.

CUADRO N.º 2

PRINCIPALES POBLADOS FORTIFICADOS EN EL SURESTE PENINSULAR

POBLADOS	CARACTERÍSTICAS
- Cabezo del Plomo (Mazarrón) - Cerro de la Virgen de Orce (Orce, Granada) - El Malagón (Cullar Baza, Granada) - Cerro de las Canteras (Vélez-Rubio, Almería) - Los Millares (Santa Fé de Mondújar, Almería) - Tabernas (Almería) - Campos y Almizaraque (Cuevas de Almazora, Almería)	- El poblado del Cabezo del plomo está situado sobre un cerro junto a la Rambla de las Moreras y a 300 m. s.n.m. Está formado por un recinto amurallado de 3.000 m², con 4 torres huecas situadas cada 15 m. En el interior existen chozas circulares con zócalo de piedra, y un taller de sílex, piezas de cristal de roca y molinos de mano. Se trata del más antiguo de la región, pudiéndose datar como a finales del IV Milenio o comienzos del III^{er}. - No se han detectado actividades metalúrgicas, a pesar de estar emplazado a escasos kilómetros de los yacimientos de cobre del Lomo de Bas, Playas de Ifré y Sierras de Almenara y Cantar, no explotadas hasta la Edad de Bronce. - Al pie del poblado se descubrió una necrópolis, que ha aportado mucha información sobre los rituales y monumentos funerarios. - El poblado de los Millares, datado en el 3245 a. de C. representa el máximo apogeo de este tipo de construcciones.

para establecerse en los primeros poblados o aldeas, que adoptan una gran variedad de formas, en función de las características del emplazamiento.

También, y de gran interés para este artículo, este período se caracteriza por los comienzos de la utilización de recursos hidráulicos para regadíos, ante la necesidad de incrementar y buscar nuevas tierras de cultivo, y por el inicio de una nueva y revolucionaria tecnología, la de la metalurgia del cobre, que, junto con la del oro para su utilización en piezas de adorno y decorativas, propició el que a este período se le denomine también como «calcolítico» o «Edad del Cobre».

En lo referente a los poblados fortificados, verdadera novedad en la zona, y hasta entonces totalmente desconocidos incluso en todo el Mediterráneo Occidental, constituían verdaderas fortalezas, con varias líneas de defensas amuralladas construidas en piedra, entre las que sobresalían torres de protección en sus zonas estratégicas.

Tomando como prototipo el po-

En lo referente a las necrópolis eneolíticas de la zona de estudio, casi todas ellas se emplazan ya en cuevas sepulcrales situadas fuera de las viviendas y no dentro de ellas como se venía haciendo con anterioridad durante el Paleolítico y Neolítico, aunque siguen situándose en lugares próximos a los poblados (al pie de los cerros fortificados, sobre todo). Su distribución es muy amplia a lo largo y a lo ancho de prácticamente toda su geografía, como se observa en el **cuadro n.º 3**.

«En la costa mediterránea peninsular las primeras manifestaciones del proceso de neolitización aparecen hacia el V^o Milenio a. de C...»

PRINCIPALES NECROPOLIS ENEOLÍTICAS LOCALIZADAS EN EL SURESTE PENINSULAR

NECROPOLIS	OBSERVACIONES
– Blanquizaes de Lébor (Totana, Murcia)	– Con ricos ajuares mortuorios
– Los Tiestos (Jumilla, Murcia)	– Se continuó utilizando hasta época argárica.
– El Cuchillo y las Atalayas (Yecla, Murcia)	– Actualmente en estudio.
– Barranco de la Higuera (Fortuna, Murcia)	– Emplazado cerca de los actuales Baños. En él se han descubierto interesantes prácticas de abrasión dentaria en vida de algunos individuos.
– Peñarrubia y Poyo Miñano (Cehegín, Murcia)	
– La Represa (Caravaca, Murcia)	– Con ricos ajuares y pinturas rupestres. Muy deteriorado por rebuscas clandestinas y explotación de una cantera.
– Las Amoladeras (Cabo de Palos, Murcia)	

En la mayor parte de estas cuevas sepulcrales han aparecido múltiples piezas de vasijas modeladas en yeso, con decoración incisa con colores rojos a la almagra. También han aparecido algunas piezas metálicas de cobre, mayoritariamente en forma de punzones, largos y cortos, que pudieran indicar el comienzo de una cierta actividad metalúrgica en este período, aunque sin confirmarse definitivamente al no haberse localizado, hasta la fecha, restos de escorias.

5.–La utilización de las «piedras de color» y el descubrimiento de la utilización del oro y del cobre durante el período Eneolítico-Calcolítico

A lo largo de este importante período Eneolítico, y con una datación exacta aún no determinada por los investigadores, aunque próxima a los finales del IVº Milenio o principios del IIIº a. de C., el hombre mediterráneo peninsular dio un paso cultural de gigante con el trascendental descubrimiento de la metalurgia en la zona, que vino aparejado con el comienzo de una prospección minera organizada, con labores ya no sólo de exterior y de recolección, sino de interior, en las que se llevaban a cabo extracciones de rocas y minerales metálicos y no metálicos que serían utilizados, posteriormente, no sólo como elementos de utillaje y defensa, sino, también, como piezas de distinción social asociados al adorno o incluso a la magia.

«La Cueva de Cabo Cope constituye, hasta la fecha, uno de los escasos exponentes del Neolítico tardío en la zona...»

Este importantísimo descubrimiento y difusión del trabajo de los metales en la zona, ya iniciado en Mesopotamia y Anatolia casi un milenio antes, marcaría por sí solo una decisiva línea divisoria dentro de la historia del proceso civilizador en el mediterráneo peninsular.

Desde muy avanzado el Neolítico, el hombre mediterráneo había comenzado ya a recoger otro tipo de variedades mineralógicas además de las ya clásicas obsidianas, pedernales, corneanas, esquistos y cuarcitas, entre otras, y que ahora le llamaban la atención por su colorido, brillo o peso. Estos nuevos descubrimientos, cuyo objetivo primordial fue el adorno en una sociedad casi urbana que comenzaba a descubrir y a necesitar de objetivos de «lujo» y de «prestigio», fueron el cuarzo de diferentes colores (sobre todo el ahumado o lúcido, que suele hallarse en los ajuares mortuorios de los sepulcros de fosa), la turquesa (o calaita, similar a la esmeralda), y a la que se atribuía poderosas facultades mágicas y curativas contra el asma y el reuma, la malaquita y el lapislázuli, la variscita (fosfato de alumi-

nio hidratado de color verde) y diversas menas metálicas de coloridos intensos.

También, y desde finales del Paleolítico, se venía utilizando el ocre para la obtención de coloreante, así como el ámbar, conocido en la antigüedad como «elektron» por las propiedades magnéticas que presentaba.

Estos materiales, que por su extraordinaria belleza y enorme escasez resultaban muy solicitados para la fabricación de cuentas de collares y colgantes, enseguida alcanzaron valores de trueque muy altos e incluso hasta atribuciones de cualidades mágicas.

Dentro de esta nueva moda del adorno como hecho cultural y de distinción social, la capacidad de observación del hombre descubrió otros minerales de colores, incluso aún más vistosos que los anteriormente usados, a los que denominaron «piedras de color». Este es seguramente el momento del descubrimiento del oro, el primer mineral metálico utilizado por el hombre y que se recogía, aunque escaso, con bastante facilidad y de forma nativa en las arenas aluviales de algunos ríos de la zona. Su fuerte y vistoso color amarillo y brillo metálico les llamaría profundamente la atención y más aún cuando, al golpearlo con una piedra, observarían que era muy maleable.

De la misma o parecida manera el hombre levantino descubriría el cobre en estado metálico o nativo que, aunque inicialmente aparecería con un color verdoso oscuro, muy fácilmente, y mediante frotación o rayado, podía conseguirse en él un atractivo brillo metálico.

6.–Bronce o megalitismo. Utilización de la plata, el cobre y el plomo nativos. Forja en frío de los metales. Aparición de los hornos de fundición y crisoles

En esta primera etapa de transición de la piedra a los metales, y en unas fechas, como ya se ha mencionado anteriormente, próximas a los finales del IVº Milenio a. de C., el hombre eneolítico, desconocedor, hasta la fecha, de las técnicas de liberación del metal de sus gangas mediante calor, moldeó sus metales conocidos con los mismos métodos con que tradicionalmente tallaba

sus piedras. El resultado fue una serie de toscos e imperfectos objetos metálicos que, en un principio, resultaban incluso menos útiles que los elaborados de piedra. Esta fue la razón de que durante mucho tiempo siguiera utilizándose la piedra para los utensilios más usados y que se reservara el oro, la plata y el cobre nativos para objetos de adorno y para alguna herramienta no cortante. Tan solo el hierro meteórico, muy raro y escaso, pudo ser utilizado en estas primeras etapas de la edad de los metales, para la fabricación de instrumentos cortantes.

Pero veamos un poco más detenidamente como era esta primitiva técnica de metalurgia de los metales en frío.

La técnica en sí era muy sencilla y se reducía a un sistemático martilleo del mineral metálico para eliminar sus impurezas o gangas y darle la forma deseada, lo cual se conseguía sin grandes dificultades, al presentar estos minerales metálicos unos valores de dureza comprendidos entre 2,5 y 3 de la escala de Mohs, que suponían más de la mitad de los presentados por las tradicionales turquesas y las diversas variedades del cuarzo —con valores de 6 y 7, respectivamente—.

El proceso de la obtención del metal a partir del mineral parece ser que se inició en la práctica con óxidos y carbonatos de cobre (cuprita y azurita), como así se desprende de algunos yacimientos de la zona.

Pero la forja en los metales era lenta, imperfecta y de resultados prácticos muy limitados. Además, la existencia de minerales nativos en la superficie resultaba cada vez más escasa y dificultosa para el hombre a finales del Neolítico.

Es en estos momentos, y muy probablemente con la ayuda de los primeros visitantes del Mediterráneo oriental, cuando el hombre levantino conoce la técnica de separar los metales de sus menas mediante la fusión y, por tanto, la manera de aprovechar las enormes reservas de complejos metálicos que abundaban por toda su área.

El primer paso fue el descubrimiento de que el cobre, el plomo, el oro y la plata nativos podían ser fundidos mediante calor y obtener, posteriormente, diferentes formas con el metal al enfriarlo en moldes de arcilla o piedra.

Pero para que este paso, tan elemental a primera vista, fuera posible, debieron producirse paralelamente to-

da una serie de descubrimientos y adelantos en las técnicas y herramientas de la época, tales como el horno de fundición, los crisoles, moldes, yunques, martillos, tenazas, etc. En la costa murciana y almeriense en excavaciones realizadas en Campico de Lébor, Mola Alta de Sevelles, etc., han aparecido muchos de estos objetos y herramientas para la fundición y metalurgia del cobre arsenical, y con una antigüedad que los arqueólogos han datado como del Bronce o Magalitismo —paso del IVº al III Milenio a. de C., hasta finales del III Milenio a. de C.—.

Con este cobre arsenical los aborígenes de la zona fabricaban, mediante fundición en moldes abiertos y cerrados, sus famosas espadas anchas y cortas —falcatas— de nervio central en una sola cara y con sus escotaduras para facilitar el enmangue.

«...este período se caracteriza por los comienzos de la utilización de recursos hidráulicos para regadíos (...) y por el inicio de una nueva y revolucionaria tecnología, la de la metalurgia del cobre...»

Evidentemente, y como muy acertadamente anota V. Gordon Childe, fue el cobre el que empujó al hombre a hacer experimentos con metales y el que marcó ese grande y dramático salto en la historia de la humanidad. Es aquí, y con el descubrimiento de las técnicas de separar los metales puros de sus menas o arenas mediante fusión, donde comienza la metalurgia y la edad de los metales propiamente dicha.

Se puede afirmar, incluso, que hasta este momento no acaba la edad de piedra, pues hasta entonces el hombre se había limitado a utilizar con los metales nativos las mismas técnicas que había empleado desde milenios con la piedra. Es a partir de esta nueva fase cuando el hombre eneolítico se da cuenta de las enormes posibilidades

que se abren ante él y ante su futuro y del verdadero alcance del descubrimiento de la metalurgia.

Lógicamente, este nacimiento de la metalurgia vino asociado a un florecimiento de los centros urbanos, a una progresiva especialización del trabajo, mejora del transporte y del tráfico de mercancías, interior y exterior y, en definitiva, a una mayor y más compleja y eficaz organización política y social de sus comunidades.

Los primeros experimentos de calentar el cobre para aumentar su maleabilidad debieron realizarlos con óxidos y carbonatos de cobre, los cuales pueden ser reducidos con temperaturas cercanas a los 700-800°C. Estas temperaturas, algo superiores a las de un fuego de campamento —la temperatura de un fuego normal de leña no sobrepasa los 650°C— necesitaban ser producidos por un horno tipo alfarero de los de endurecimiento de cerámica al fuego o por uno de «hoyo en el suelo» ayudado con fuelles o sopletes. Por su parte, los sulfuros de cobre parece ser que no fueron utilizados hasta mediados del segundo milenio a. de C.

Al calentamiento del mineral con carbón de leña incandescente debían suministrarle una fuerte y continua corriente de aire hasta que se desprendía una buena parte de las impurezas y se obtenía el metal, todavía en estos períodos iniciales con un alto grado de impurezas o gangas.

Conseguido ya el importante paso de la fundición se comenzó entonces a experimentar con la mezcla de diferentes metales para obtener otros con mejores condiciones de dureza, maleabilidad, etc. Esta nueva técnica de la «aleación», descubierta alrededor del año 3000 a. de C. por los sumerios al importar de Omán minerales de cobre con contenidos naturales de níquel y estaño —bronce natural—, demostró la ventaja de moldear el bronce respecto al cobre simple y abrió un nuevo y amplio campo de investigación metalúrgica para los fundidores de todo el mundo mediterráneo.

En el mediterráneo peninsular, y aunque con los lógicos retrasos con respecto al foco cultural del mediterráneo oriental —Mesopotamia, Anatolia, Egipto y Chipre, fueron los principales focos de producción de la metalurgia del cobre durante el Eneolítico—, la actividad metalúrgica está ampliamente documentada a partir de aproximadamente el año 2.400 a. de C.

La producción del «metal de cobre», se llevaría a cabo fundamentalmente a partir del sulfuro de cobre (calcopiríta), tras conseguir depurar las iniciales técnicas empleadas con los óxidos y carbonatos (cuprita y azurita).

La producción resultante, que se ha localizado en diversos yacimientos de la zona (El Prado de Jumilla –Murcia–, ... etc.), consistía, básicamente, en azuelas, hachas planas, cuchillos curvos, sierras y hendidores de diversos tipos, todos ellos realizados mediante fusión en molde.

El metal de cobre obtenido con la fundición –y con el que posteriormente se realizaban los utensilios mencionados mediante moldes y martilleo– se distribuía inicialmente en forma de lingotes de unos 30 Kg. de peso, denominados «piel de buey», debido a su forma que asemejaba a la piel de dicho animal.

7.–Las culturas Almeriense y del Argar o del bronce pleno. Dominio del laboreo de minas y de las técnicas de fusión de los metales. Descubrimiento del bronce y de las aleaciones simples.

El proceso neolitizador del sureste peninsular tuvo una especial relevancia y apogeo en la zona comprendida entre las desembocaduras de los ríos Antas y Almazón (Almería), por lo que algunos investigadores de finales de siglo pasado y de comienzos de éste identificaron este relevante foco eneolítico como «cultura Almeriense o del Bronce I o Megalitismo», atribuyéndole claras influencias y conexiones con pueblos de Asia Menor y del Mediterráneo oriental.

Este foco cultural, que tuvo su apogeo entre la segunda mitad del IVº Milenio y la primera del IIIº Milenio a. de C. (hasta aproximadamente el 2.500 a. de C.), se extendió posteriormente por todo el sureste peninsular e incluso por una buena parte del resto de la península Ibérica, y constituyó el período de máximo esplendor de todo el proceso cultural eneolítico ya comentado en el apartado anterior, que se caracterizó por la proliferación de enterramientos colectivos y de poblados forti-

«...a finales del IVº Milenio o principios del IIIº a. de C., el hombre mediterráneo peninsular dio un paso cultural de gigante con el trascendental descubrimiento de la metalurgia en la zona, que vino aparejado con el comienzo de una prospección minera organizada (...))»

ficados, similares o parecidos a los del Neolítico de Palestina (Jericó, Ai, Eimán, Azor, etc...).

Durante este período del Bronce I se produjo un marcado predominio cultural de los pueblos del Sureste sobre los del resto de las regiones peninsulares. Sin duda, debió existir un gran florecimiento cultural y económico en toda la zona costera almeriense-murciano-alicantina y a lo largo de la vega baja del río Segura, como así lo confirman los diferentes yacimientos y cuevas megalíticas de Totana y de la zona meridional alicantina, además de los numerosos exvotos e ídolos de marcada raíz egipcia y palestina encontrados en los Millares (Almería) y La Carihüela (Granada), datados como de esta primera etapa del Bronce I.

Es indudable que en esta época la fundición o reducción del cobre nativo mediante el fuego era ya aplicada por sus habitantes, como lo demuestran la aparición de restos y escorias de este mineral en varios de sus poblados –El Gárcel y La Gerundia–. Incluso es muy probable, y así lo confirman diferentes autores, que el comienzo del trabajo de los metales en la península se diera en esta zona y al amparo de sus importantes núcleos mineros de Cartagena y Cabo de Gata, desde donde se extendería posteriormente por toda Andalucía –Huelva y Sevilla– y, más tarde, al Algarbe, Extremadura, Castilla la Vieja y Asturias.

El trabajo en las minas de la zona debió alcanzar ya cierta importancia en

esta época, como lo demuestran la aparición de restos de cobre fundido, de mineral y de escorias, en Parazuelos, Campos y Sierra del Lomo del Bas, así como de martillos mineros y crisoles en La Zapata y El Argar y de diversas piezas de reverbero en el poblado de El Almizaraque. En este último poblado, situado a unos 600 metros del pueblo de Las Herrerías, han aparecido también en diversas excavaciones arqueológicas en diversa objetos de cobre, así como infinidad de túneles y restos de labores mineras en el Cerro de las Herrerías, en donde también aparecieron gran número y variedad de demuestras y de herramientas mineras de la época –rastillos y raederas de hueso para revolver el mineral– que demuestran una actividad minera seria y organizada.

También en El Almizaraque, y con datación de esta misma época, el arqueólogo e ingeniero belga Siret encontró varias piezas de tierra refractaria de las que utilizarían como reverberos sobre los crisoles, además de varios crisoles destinados para verter el mineral fundido sobre los moldes de fundición.

El laboreo de las minas de la época, ya algo más especializado y perfeccionado que el realizado en las canteras de períodos precedentes, se llevaba a cabo por verdaderos mineros profesionales, que abrían pozos y galerías siguiendo los filones del mineral con picos y martillos de piedra dura (los «mallei») y muy pesados, con hendidura central y de forma oval, que venían normalmente enmangados en un grueso palo. También, y como elementos auxiliares, emplearían el fuego y las cuñas de piedra y madera para la extracción del mineral.

Por lo general, los mineros vivían en pequeños poblados construidos en cerros cercanos a la boca de la mina y habitaban pequeñas y míseras chozas fabricadas con ramaje de árboles, en las que aparecen frecuentemente algunos restos de cerámicas toscas y negras fabricadas a mano.

A estas primeras etapas de la minería podrían corresponder también las anotaciones hechas por Plinio que, en su Historia Natural, nos comenta:

«el objetivo de las labores antiguas solía ser sólo el alumbre y una vez hallado, no se profundizaba más».

y Strabon lo confirma al decirnos: «primitivamente se explotaba el alambre sin profundizar en busca de mineral más noble».

Pero sí la primitiva minería del alumbre (sulfato doble de alúmina y potasa, o sal blanca utilizada como astringente) y del cobre, y la metalurgia de este último mineral, era ya utilizadas a lo largo del III Milenio a. de C., la del oro fue también experimentada en los momentos más avanzados de este período, y en una etapa que podríamos encuadrar en la del «Vaso Campaniforme» —momentos finales y decadentes del Megalitismo almeriense o de la cultura de Los Millares—. La aparición de los primeros objetos de oro en forma de anillos, espirales y láminas en sepulcros y monumentos del área megalítica del sureste —Cañada del Carrascal, Galdull, G. y Loma de Belmontel—, así como los del valle del Guadalquivir y en las zonas occidental y del interior de la Península —Matarubilla, Tholos de Baro, Belavista Ermengueria, Alcalá, Cascaes, Aldeavieja (Salamanca), Roncal, etc.— nos confirman la teoría de que fueron los portadores del vaso campaniforme los que descubrieron la riqueza aurífera de la península Ibérica en una fecha cercana a los comienzos de la segunda mitad del tercer Milenio a. de C.

Es, por tanto, una realidad generalmente ya admitida por casi todos los investigadores la existencia de una importante zona minera y de incipiente industria metalúrgica en el área de Almería y Murcia en unas fechas muy próximas al paso del IVº al IIIº Milenio a. de C., que constituiría, muy probablemente, la primera experiencia de este tipo en toda la península Ibérica y que tendría su origen en el exterior y, con casi toda seguridad, en el área del Mediterráneo oriental.

Con la llegada del IIº Milenio a de C., en una fecha que podríamos situar entre el 1900 y el 1700 a. de C. y como herederos de la cultura de Los Millares y del Vaso Campaniforme —ya con claras influencias de culturas del Egeo, Balkanes y Anatolia— se extendió por casi todo el sureste peninsular una nueva cultura que llegó por el NE hasta Baños de La Encina y por el W hasta la Vega de Granada.

Esta nueva cultura, muy estudiada en Almería, Murcia y Granada por los hermanos belgas E. y L. Siret, fue denominada «argárica» o del Bronce II o Pleno por su descubrimiento en el poblado de El Argar (Fuente Alamo, Almería), y su importancia radica en el hecho de que introdujo toda una serie

de importantes cambios en la economía, tecnología, cultura material y organización social con respecto a las culturas precedentes, ya que efectuó, por primera vez en el territorio peninsular, las primeras aleaciones de cobre y estaño para conseguir el bronce verdadero, así como la primera metalurgia y utilización de la plata en la orfebrería hispana.

Con posterioridad a los hermanos Siret han sido muchos los investigadores que han estudiado esta importante cultura del sureste peninsular, y entre los que cabría destacar a Alberto del Castillo, Juan Cuadrado Ruiz, Cuadrado Díaz, Ana M.ª Muñoz Amilibia, J.

«El proceso de la obtención del metal a partir del mineral parece que se inició en la práctica con óxidos y carbonatos de cobre...»

«El metal de cobre obtenido en la fundición (...) se distribuía inicialmente en forma de lingotes de unos 30 Kg de peso denominados “piel de buey”...»

R. García del Toro, P. A. Lillo Carpió, Michael J. Walker, Hermanfrid Schubart, Roque Ortiz Silla, M.ª Manuela Ayala Juan, Angel Pérez Casas, Posac Mon, Sopramis Salto y Val Caturla, entre otros.

Junto con la minería metálica y la metalurgia de los metales, que ya se comentará más adelante, los argares continuaron realizando una importante producción de industria lítica, tanto con rocas sedimentarias, como metamórficas e ígneas.

La arenisca la utilizaron muy frecuentemente para la fabricación de moldes de fundición, molinos de mano y, junto con las pizarras, en la elaboración de «brazales de arquero» y cuentas de collar. Restos de estos tipos de

útiles han aparecido en los poblados de Cerro Negro (Lorca), Ifre y Cerros de la Campana y Santa Catalina (Mazarrón) y la Bastida y Cabeza Gorda y de la Cruz (Totana).

El sílex, que continuó siendo la roca más utilizada, lo siguieron utilizando —como las culturas precedentes— básicamente para la talla de puntas de flecha, sierras de hoz y cuchillos, mientras que las dioritas, las serpentinas y el basalto para amoladera y diferentes útiles para minería y agricultura, como martillos y mazos, hachas y picos.

Finalmente, el yeso lo utilizaron para moldes y tallas, y las cuarcitas para la fabricación de cuchillos y lascas, de los que se han encontrado diversas piezas en los poblados de Cabeza de las Cruces (Lorca) y La Bastida (Carrascoy).

En alfarería generalmente utilizaron para la fabricación de las típicas copas argáricas y de diversos tipos de recipientes la arcilla mezclada con rocas trituradas, con el objeto de darles cohesión a las piezas, y de ellas han aparecido múltiples restos, sobre todo en los poblados de la Bastida (Carrascoy), Puntarrón Chico (Beniajan) y San Antón (Orihuela).

Ya en el campo de la minería y de la metalurgia, está evidenciado con restos arqueológicos el laboreo y la fundición de diversos metales y la mezcla en aleación de varios de ellos.

Indicios de pozos y de labores mineras han aparecido en muchos puntos de la zona, destacando los de plata y plomo de la Bastida (Totana), los de Cobre en Portman y Calnegre, Ramonete, Espuña, Almenara, Sierra de Enmedio, Lorca, Lomo de Bas, Totana y Santonera, y los de estaño en Cabo de Palos, Portman, La Unión y Calnegre.

Por su parte, los restos de fundiciones de metales y de aleaciones son también muy frecuentes en los poblados argáricos, habiendo aparecido crisoles, moldes de fundición univalvos y bivalvos, y restos de escorias en Cobatilla La Vieja, Cabezo de la Fuente (Los Belones), Poblado de la Mina de Siscar, La Bastida (Totana), Yecla, Puntarrón Chico, Cerro de las Víboras y las Anchuras (Totana). Los resultados analíticos en los crisoles y escorias han determinado la presencia de bismuto, plomo, arsénico, antimonio, cinc y estaño, con cuya aleación conseguían endurecer el cobre.

Pero volvamos al importante tema de que fueron los argares los pri-

meros habitantes de la península ibérica que realizaron la aleación de cobre y el estaño para conseguir el bronce verdadero.

El descubrimiento o utilización de esta nueva aleación por los trabajadores de los metales argáricos, a los que algunos autores han considerado como los verdaderos y primitivos descubridores de esta técnica del bronce en todo el ámbito mediterráneo, debió producirse muy probablemente de la mano de los primeros visitantes venidos del Mediterráneo oriental, aunque también pudo producirse de una forma aislada y casual en la propia región del sureste, al fundir, quizás por azar, mineral de cobre mezclado con otro mineral rico en estaño.

Esta segunda posibilidad parece menos probable que la primera, al existir una escasez de estaño en la zona argárica –debieron ir a buscarlo a otras comarcas de la meseta–. Es más probable, e incluso mucho más lógico, que ocurriese tras los primeros contactos con los visitantes del Mediterráneo oriental –Anatolia, Balkanes, Egeo, Fenicia y Egipto, que ya habían descubierto y utilizado el bronce desde aproximadamente el año 3000 a. de C.–, cuando los argares comenzaran sus experiencias con el bronce y cuando, ante la escasez de estaño en su área de dominio, se lanzarán a una etapa de expansión hacia la meseta en busca del preciado metal.

Además, es curioso el hecho revelador de que los pueblos del interior de la meseta y ricos en estaño no hubieran descubierto todavía por aquella época la metalurgia del bronce y que fueran precisamente los argáricos, con su conocida escasez de estaño, pero con amplias y seguras costas muy frecuentadas ya por navegantes de pueblos más civilizados y avanzados tecnológicamente, los que lograran descubrir la preciada aleación que tanto costó a otros pueblos conocer y que significó una auténtica «revolución industrial» de aquella época.

Pero fuese de una forma o de otra, lo que sí es absolutamente cierto es que fueron los argares los primeros que utilizaron la metalurgia del bronce en todo el territorio peninsular y que fue precisamente esto lo que les supuso su supremacía sobre el resto de los pueblos hispanos.

De todas formas, y a pesar de la importancia que conllevó la aparición del bronce en la metalurgia argárica, el

cobre arsenical siguió siendo el mineral metálico más utilizado en la fabricación de armas y de otros objetos de uso cotidiano. En el poblado argárico de Almizaraque, por ejemplo, se ha encontrado muchos restos de carbonatados de cobre y de cobre argentífero, así como hornos en los que se trataba el mineral, soleras con forma de crisoles, tubos de arcilla que debieron ser utilizados como chimeneas rudimentarias y hasta arcos de tierra refractaria que sirvieron de bóvedas de los hornos.

**«Esta nueva cultura
(...) denominada
“Argárica o del Bronce
II” o Pleno (...) efectuó,
por primera vez en el
territorio peninsular,
aleaciones de cobre y
estaño para conseguir
el bronce verdadero
(...), así como la
primera metalurgia y
utilización de la plata
en la orfebrería
hispana»
«Los resultados
analíticos en los crisoles
y escorias han
determinado la
presencia de bismuto,
plomo, arsénico,
antimonio, cinc y
estaño, con cuya
aleación conseguían
endurecer el cobre»**

Estos descubrimientos, junto con otros similares encontrados por los hermanos Siret en el Argar, han permitido reconstruir todo el proceso de metalurgia que seguían para la obtención final del metal puro, desde la mezcla inicial del mineral con carbón, hasta la

obtención final de los lingotes de cobre fundido.

Primeramente se realizaba una fusión inicial del mineral, a la que seguía una segunda dentro de los crisoles. Posteriormente, el metal, ya licuado con la segunda fusión, se vertía sobre los moldes en los que se dejaba enfriar, para finalmente realizar un batido con martillo de piedra sobre el objetivo ya moldeado y enfriado.

8.–Apogeo de la orfebrería de la plata y el oro. Etapas de la cultura argárica

En orfebrería, sin embargo, fue la plata, sin duda muy abundante y relativamente fácil de obtener en esta zona, la que comenzó a sustituir al oro en la elaboración de objetos de decoración. El oro aparecía muy escaso en algunas arenas de contados ríos y arroyos de la región y, casi siempre, mezclado con algo de plata en forma de electro natural.

Parece ser que la primera plata utilizada por los argáricos era de tipo nativo, procedente de la zona de Las Herrerías –de un yacimiento superficial situado al pie de sierra Almagrera y cerca del río Almanzora– y que las técnicas de fusión que empleaban eran las mismas que venían utilizando con el cobre desde muchos siglos atrás.

Esta abundancia y superioridad de la plata en la región argárica constituyó, lógicamente, un definitivo e importante factor de estímulo para la llegada de visitantes de las culturas del Mediterráneo oriental, los cuales comenzaron ya a establecerse en pequeñas colonias costeras de la zona y que, en definitiva, contribuyeron positiva y claramente en el desarrollo de la propia cultura argárica.

Prueba evidente de esta superioridad argentífera autóctona es el predominio estadístico en la aparición de joyas y objetos de plata sobre los de oro en casi todos los yacimientos argáricos litorales e incluso el contenido de un alto porcentaje de plata en los escasos objetos de oro encontrados. En el poblado de El Argar, por ejemplo, de los 320 objetos descubiertos, tan solo seis de ellos son de oro y el resto de plata.

Las proporciones en peso de los metales también nos dan una clara idea

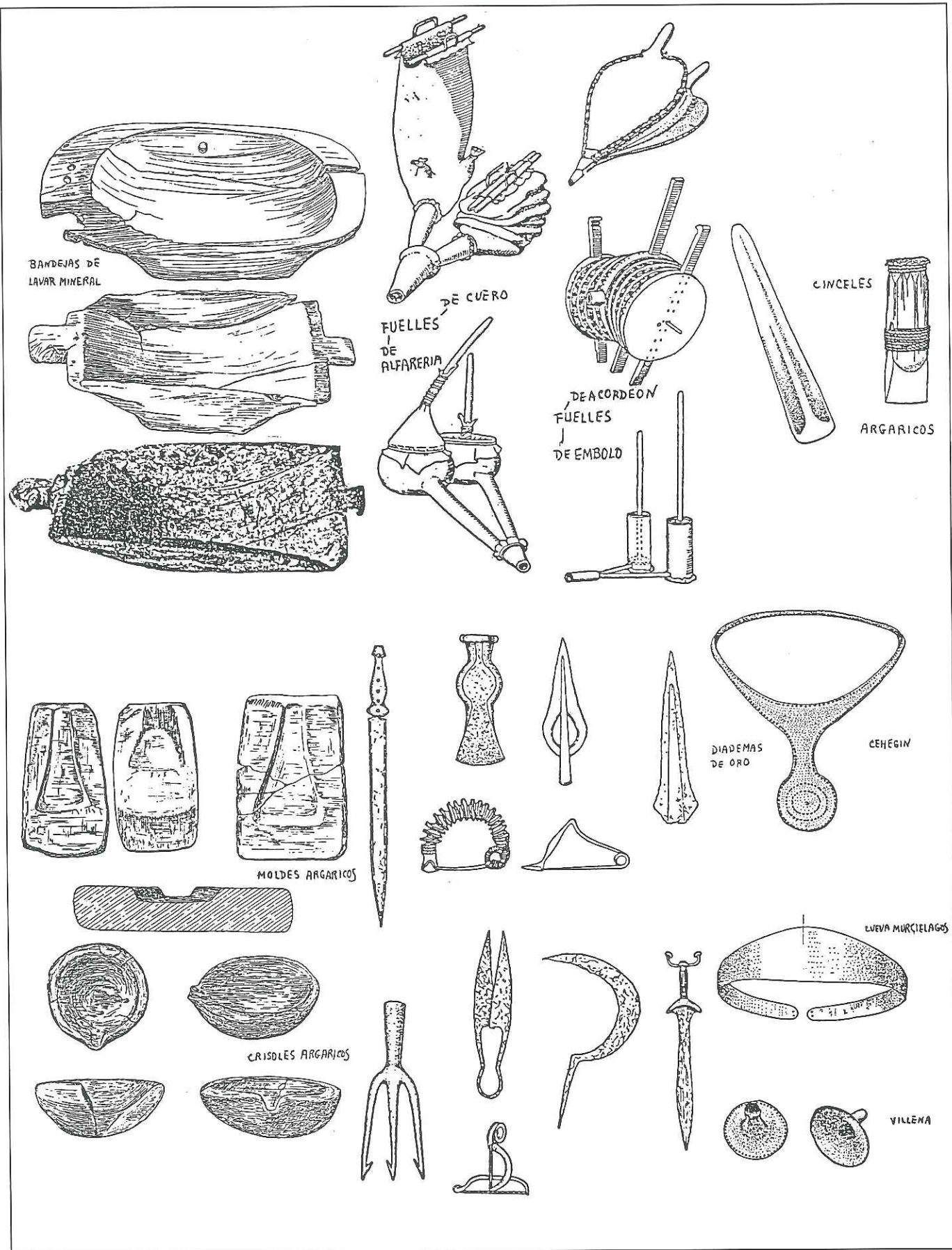


Fig. 1: Diversos instrumentos y utensilios utilizados en la minería y metalurgia argáricas. 1.–Bandejas de lavar el mineral. 2.–Fuelles y sopletes para «Hornos de hoyo en el suelo». 3.–Moldes y crisoles argáricos. 4.–Utensilios, armas y joyas. Los Mastienos. Manuel Rolandi S. Solís y Juan Soler Cantó.

al respecto. Mientras que la plata extraída en El Argar sobrepasa los dos kilogramos, el oro tan solo alcanza los 13 gramos.

Similares relaciones de porcentajes se repiten en otros yacimientos argáricos como el de Fuente Alamo (Almería) en donde aparecieron 33 objetos de plata y 2 de oro; o en el poblado de El Oficio en donde, por también 2 de oro (9 gramos), se descubrieron 42 de plata (333 gramos).

Además, se comprueba con los análisis químicos realizados en algunas de las muestras de oro recogidas, que en realidad se trata de electros naturales, con predominio de oro y no de oro puro. Hilos de oro recogidos en El Argar dieron proporciones de 62,96 % de oro y 37,40 % de plata, al igual que el famoso brazalete de Fuente Alamo, que sólo contiene un 74,36 % de oro por un 25,74 % de plata; o los no menos conocidos pendientes de la sepultura de El Oficio, que presentan una proporción similar de plata.

En definitiva, esta mezcla del oro con diversas proporciones de plata es la causa de que las joyas de oro argáricas presenten una variedad de color que va desde el amarillo latón al amarillo anaranjado.

No es, por tanto, hasta una etapa posterior, y tras la expansión argárica hacia el interior de la meseta en búsqueda del estaño para su metalurgia del bronce, cuando el pueblo argárico entró en contacto con otras zonas más ricas en oro y cuando el desequilibrio plata/oro volvió a nivelarse e incluso a ser favorable al predominio del oro en su orfebrería.

De esta etapa de orfebrería equilibrada serían las famosas diademas argáricas aparecidas sobre cráneos en varios enterramientos de la zona y que muy bien podrían ser una versión hispánica de los antiguos «ureus» de la corona real del bajo egipto. Una de estas diademas, fabricada en oro, apareció en Cehégín (Murcia) y otra de ellas, aunque en plata, en sepulturas de El Argar y en la Cueva de los Murciélagos (Granada).

Por lo general las joyas argáricas —brazaletes, anillos simples y de espirales, aretes, etc.— tanto en plata como en oro, conservaron la misma sencillez de formas que las de la anterior época de Los Millares o del Vaso Campaniforme.

Pero quizás donde la orfebrería argárica adquirió personalidad propia

«Parece ser que la primera plata utilizada por los argáricos era de tipo nativo, procedente de la zona de Las Herrerías, y que las técnicas de fusión que empleaban eran las mismas que venían utilizando con el cobre desde muchos siglos atrás...»

«Los poblados y Yacimientos argáricos en los que han aparecido restos de industria del cobre, bronce y plata en el sureste peninsular son muy numerosos, lo cual viene a confirmar (...) la importancia y el grado de implantación de la metalurgia de estos metales y de la orfebrería (...) a lo largo del IIº Milenio a. de C.»

«El desarrollo de la metalurgia llegó a adquirir tal importancia en la cultura argárica, que algunos investigadores han utilizado su evolución a lo largo del tiempo para clasificar las distintas fases de su cultura (...).»

—aparte de las diademas anteriormente mencionadas— fue en la elaboración de pequeños colgantes de oro con forma de trompetillas o embudos y en la fabricación de los primeros lingotes de oro. El tesorillo del poblado del Cabezo Redondo (Villena, Alicante), datado con carbono 14 como de la segunda mitad del II Milenio a. de C., y la cueva malagueña del río Jórox (Alozán) nos muestran la aparición de varias de estas piezas, así como la de un lingote de oro a medio utilizar —Cabezo Redondo—, técnica esta última, no empleada todavía durante el Vaso Campaniforme y que no sería de uso común hasta finales de la edad del Bronce.

También de esta etapa de predominio del oro como resultado de la expansión de la metalurgia argárica hacia las zonas del interior, serían las famosas espadas de ancha base —falcatas— con empuñaduras de oro y pomos remachados con clavos, que vinieron a sustituir a las antiguas con enmangue de espiga o lengüeta. Estas espadas, decoradas con riqueza, con empuñadura y clavos de oro y plata como en Mircenas, y al igual que las vajillas, cetros y otras joyas de oro y plata aparecidos en el Tesoro de Villena y en otros puntos del sureste peninsular, nos hace pensar en la existencia de pequeñas cortes de príncipes y reyezuelos locales que gustaban de rodearse de lujo y riquezas que resaltaran y demostraran su poder y nobleza.

Los poblados y yacimientos argáricos en los que han aparecido restos de industria del cobre, bronce y plata en el sureste peninsular son muy numerosos, lo cual viene a confirmar, de alguna manera, la importancia y el grado de implantación de la metalurgia de estos metales y de la orfebrería en el sureste peninsular a lo largo del IIº Milenio a. de C.

Los yacimientos más importantes de la zona, y aparte de los ya mencionados en páginas precedentes, se han clasificado por tipologías de útiles encontrados en ellos y que, básicamente, corresponden a armas (hachas, puñales, alabardas, espadas y puntas de flecha), utensilios de trabajo (sierras, cinceles y punzones) y adornos de diversa naturaleza (brazaletes, sortijas, pendientes, cuencas de collar y aros de una o varias vueltas).

La distribución de estos poblados/yacimientos y de los útiles localizados en ellos se incluye en el **cuadro 4:**

CUADRO N.º 4

PRINCIPALES YACIMIENTOS AGRARIOS CON ÚTILES FABRICADOS
EN COBRE, BRONCE Y PLATA

YACIMIENTOS/POBLADOS	INDUSTRIA Y OBSERVACIONES
La Bastida (Totana), Ifre (Mazarrón) y Ciñuela.	<i>Hachas</i> planas de forma trapezoidal y sección rectangular.
Almoleya, Zapata y el Rincón, Ifre, Cerro de Las Víboras, Zúlu el Pequeño de Abanilla, Cobotilla la Vieja, Cerro del Castillo, Cabeza Gorda o la Cruz de Totana.	<i>Puñales</i> triangulares de longitud variable entre 4 y 20 cm, y con remaches de cobre, bronce y plata para fijarlos a sus mangos de hueso o madera.
Puntarrón Chico de Beniajan, Cerro del Castillo, Monteagudo y Rincón de Almendricos.	<i>Alabardas</i> de forma triangular y nervadura central, de longitudes entre 15 y 17,5 cm y con mangos de madera y remaches.
Cabezo Gorda o de la Cruz de Totana, El Rincón, Almoleya de Pliego y el Morronazo de Jumilla.	<i>Espadas</i> de cobre o bronce, forma triangular y longitud variable entre 30 y 60 cm. Empuñaduras de madera con adornos, que en los únicos casos de los yacimientos de La Almoleya de Pliego y El Morronazo de Jumilla son de oro.
El Argar, La Bastida de Totana y Puntarrón Chico de Beniaján.	<i>Puntas de flecha</i> , en hueso, cobre o bronce, de cuatro tipos: barra aplanada, forma de hoja, forma losángica y de aletas.
La Bastida de Totana, Almoleya de Pliego El Rincón de Almendricos, Ifre, Zapata, Cobotilla la Vieja, Las Peñicas y Puntarrón Chico.	<i>Punzones</i> de sección cuadrada en cobre, con longitudes entre 3 y 8 cm y mangos de madera.
Cerro del Castillo de Monteagudo, Ifre (Mazarrón), La Bastida (Totana), Zapata (Lorca), Puntarrón Chico (Beniajan), El Rincón, El Cabezo, Las Cruces de Créza, El Rincón de Almendricos (Lorca), La Almoleya de Pliego, El Morronazo de Jumilla, Cabezo Redondo (Villena), Placica de Armas de Caravaca de la Cruz, Fuente Alamo y el Oficio (Almería) y Cahegín.	<i>Adornos</i> diversos, como brazaletes, sortijas, pendientes, cuentas de collar, aros de una o varias vueltas, todos ellos fabricados, fundamentalmente, en cobre o plata. Solamente se han encontrado adornos de oro en la empuñadura de una espada en La Almoleya de Pliego y El Morronazo de Jumilla, en las diademas de Cohegín y de la Placica de Armas (Caravaca de la Cruz), y en diversos colgantes y adornos del Cabezo Redondo (Villena) y de Fuente Alamo y el Oficio (Almería).
Ifre y Murviedro.	<i>Sierras</i> de cobre o bronce, dentadas.
Zapata.	<i>Cinceles</i> de cobre o bronce.

El desarrollo de la metalurgia llegó a adquirir tal importancia en la cultura argárica, que algunos investigadores han utilizado su evolución a lo largo del tiempo para clasificar las distintas fases de la cultura de un pueblo argar que representó cultural y económicamente un papel hegemónico en la Península Ibérica e, incluso, en el mundo mediterráneo occidental de la época.

B. Blance diferencia dos etapas dentro de la cultura de El Argar. Una primera o del Argar-A, en la que predomina la joyería del oro sobre la de la plata y en la que se generaliza la costumbre de los enterramientos entre losas de piedra y el uso y fabricación de armas con remaches en semicírculo; y otra segunda o del Argar-B, en la que el uso de la plata sustituye

mayoritariamente al oro —comienzo de la producción ordenada y sistemática de los yacimientos de plata nativa y como complejos sencillos de Cartagena y Cabo de Gata— y en la que los enterramientos comienzan a realizarse en el interior de tinajas, así como las armas con remaches en forma de cuadrados.

A esta segunda etapa argárica de predominio claro de la plata o incluso de una posterior de transición hacia los pueblos claramente mastienos (finales del II milenio a C. o comienzos del I milenio a C.) corresponderían, muy probablemente, los comentarios de los historiadores antiguos Timeo y Diodoro, en los que ambos refirieron una misma y conocida leyenda sobre la tremenda abundancia de plata nativa en todo el ámbito tartesio.

El historiador sikelista Timeo, que vivió entre los siglos IV y III a C. nos transmitió así la fantástica leyenda:

«...cuentan que los primeros fenicios que llegaron por mar a Tartessos volvieron trayendo a cambio del aceite y de la pacotilla que habían llevado consigo, tal cargamento de plata que no podían tener ni recibir más, viéndose obligados a su regreso a fundir en plata todas aquellas cosas de que se servían, incluso las áncoras». (Ps. Arist. 135).

La misma leyenda, aunque algo más ampliada y retocada, nos la vuelve a describir en el siglo I de nuestra era el historiador romano Diodoro:

«...Dícese que en tiempos antiguos, habiendo (en Iberia) muchos bosques y muy poblados de árboles, como unos pastores los incendiasen se quemó toda la región montañosa; de tal modo que, ardiendo durante muchos días, fue arrasada por entero la superficie de la tierra y por ella corrió gran cantidad de plata, ya que al fundirse el mineral de que se extrae, se formaron torrentes de metal puro, siendo ignorado su uso entre los indígenas, los mercaderes fenicios que supieron lo ocurrido; la adquirirían por cualquier pequeño cambio de otras mercancías. Pero ello, llevándola los fenicios a Grecia y Asia y a todos los demás pueblos, obtenían grandes ganancias. A tanto llegaron los mercaderes en su afán de lucro que, después de cargadas las naves, sobrando aún grandes cantidades de plata, quitaron el plomo de las anclas y las hicieron de plata. Así, practicando este comercio durante mucho tiempo, los fenicios se enriquecieron y fundaron muchas colonias: unas en Sicilia y en las islas vecinas; otras en Libia, en Cerdeña y en Iberia...».

De una segunda lectura del texto de Diodoro, y en particular del párrafo en que comenta: «...siendo ignorado su uso (el de la plata) entre los indígenas...», podría parecer que la leyenda se refiere a etapas anteriores a la argárica (culturas de Los Millares y de Almería), pero los argares, como ya hemos visto, no sólo conocían el uso de la plata, sino que incluso eran unos verdaderos maestros en su utilización en la orfebrería. Con mucho, la leyenda podría encuadrarse en la primera

etapa argárica –la de escasa utilización de la plata, pero de perfecto conocimiento de sus usos– y los comentarios del autor romano deben de tratarse más bien de una exageración para resaltar los sustanciosos negocios realizados por los comerciantes fenicios que de una realidad absoluta. Además, recordemos que Timeo –cuatro siglos anterior a Diodoro– no nos dice nada al respecto y que, con casi absoluta seguridad, el historiador romano recogería y traduciría la leyenda del propio Timeo.

También en relación con esta antigua leyenda Soler Cantó ha llegado a identificar la denominación de Pyrenaeus –de Pyre = fuego– con las cordilleras de Sagra-Segura-Alcaraz, con lo cual se situaría el marco geográfico de esta milenaria leyenda en pleno ámbito argárico-mastieno.

La primera de las etapas clasificadas por Blance, y comentadas ya en páginas anteriores –cronológicamente la más antigua–, trajo consigo un claro elemento diferenciador respecto a su antecedente de Los Millares, y éste fue el resaltar la costumbres de los enterramientos individuales, con sus respectivos ajuars independientes, y que, a diferencia de las inhumaciones colectivas utilizadas anteriormente, significó una primera muestra de las diferenciaciones sociales experimentadas en el seno de la sociedad argárica.

En sus poblados, y aunque no reflejan una revolución urbana plena como en los de oriente próximo, ni una organización de órganos estatales tan perfeccionados, también aparece este reflejo de las diferenciaciones sociales anteriormente comentadas –casas rectangulares y cuadradas dispuestas alrededor de otra mayor–, así como una clara diversificación y especialización del trabajo en sus comunidades.

La agricultura que, junto con la minería, la metalurgia y la ganadería, eran las más practicadas por los argáricos, se encontraba ya en un estado de cierto desarrollo, con utilización de azadas y de sistemas de riego artificial (acequias de riego en Los Millares y en el poblado del Cerro de la Virgen (Galería, Almería). Parece ser que también conocían ya por aquella época el cultivo del trigo, de la cebada, del centeno, de las lentejas y otras leguminosas, de las habas y del mijo; así como del esparto –utilizado para cestería, cuerdas y calzado– y del lino –semillas y tejidos– aunque, sin embargo, la vid y el

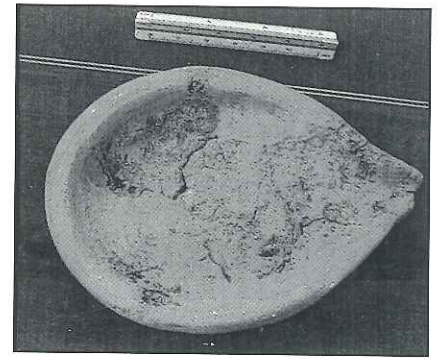
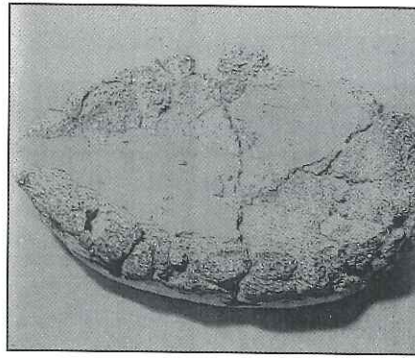


Fig. 2: «Los resultados analíticos en los crisoles y escorias han determinado la presencia de bismuto, plomo, arsénico, antimonio, cinc y estaño (...). Historia de Cartagena. Tomo II. Ediciones Mediterráneo.

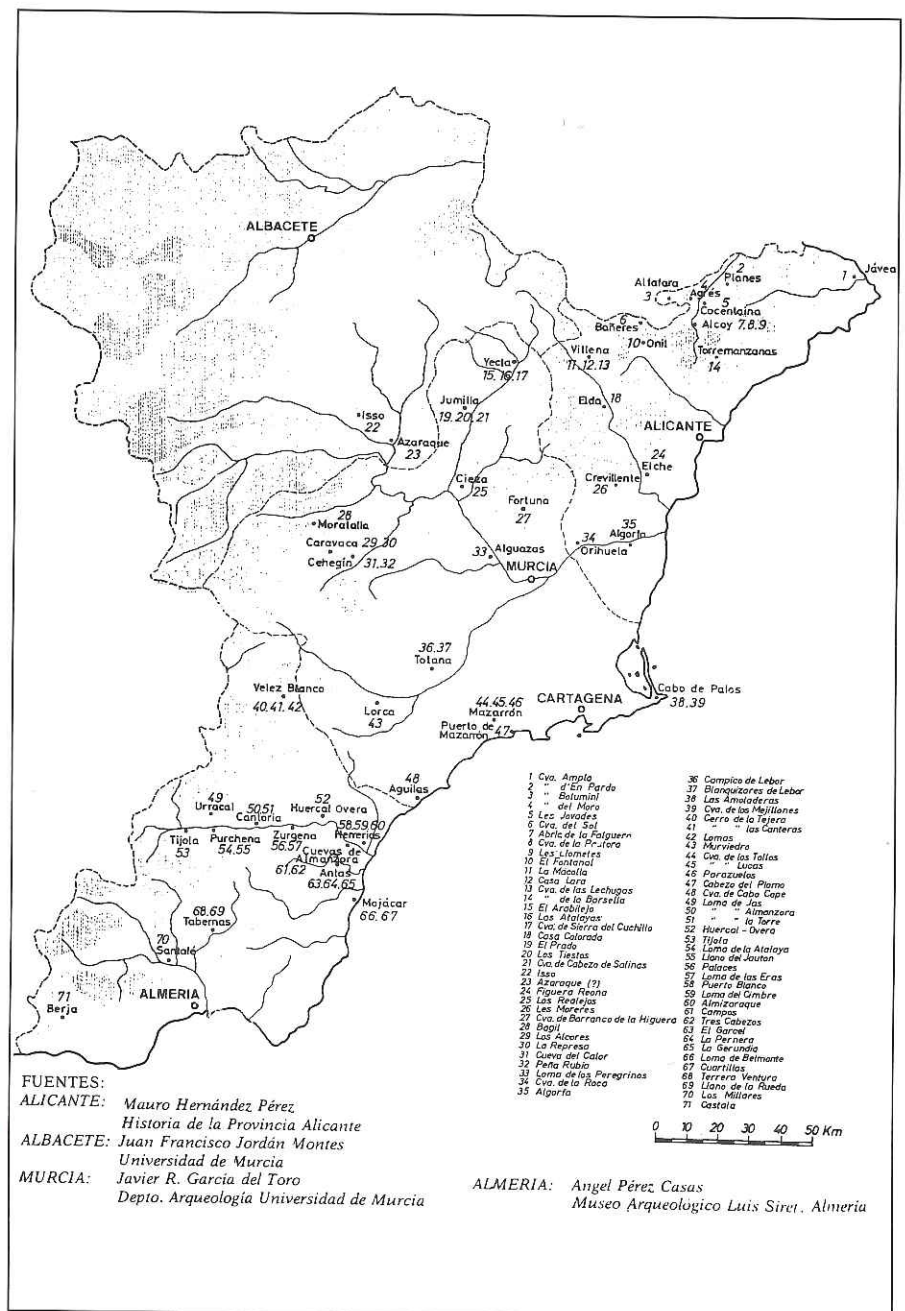


Fig. 3: Distribución de los principales yacimientos eneolíticos en el sureste peninsular. Historia de Cartagena. Tomo II. Ediciones Mediterráneo.

olivo recogían todavía sus frutos de forma silvestre y sin cultivo.

La ganadería y la domesticación de animales constituía otra importante fuente de producción de alimentos. Se sabe que utilizaban ganado vacuno, ovejas, cabras, cerdos y perros, sin que existan pruebas de la domesticación y utilización del caballo, aunque sí de la utilización de carros de dos y cuatro ruedas tirados por bueyes para el transporte.

Nos encontramos ya, por tanto, ante una sociedad claramente urbana y sedentaria, que había relegado a un segundo puesto a la caza y a la

recolección de productos silvestres, que dominaba con bastante acierto las técnicas de la agricultura (con riegos artificiales), la ganadería, la minería (del cobre, plata, plomo, oro, estaño y de los no metálicos) y de la metalurgia en sus tres primeras etapas (martilleo de los metales, fundiciones en hornos ventilados con chimeneas y aleaciones sencillas) y que había comenzado y fomentado el comercio y las relaciones con otros pueblos ibéricos del interior de la Península, así como los intercambios de productos y de artes en diferentes puntos de su litoral con las pri-

meras oleadas de comerciantes del Mediterráneo oriental.

Después de la cultura argárica, a la historia de la minería y la metalurgia del sureste peninsular le quedarían todavía por vivir sus momentos más gloriosos y relevantes, de la mano de los mastienos y de los cartagineses, pero, sobre todo, de Roma, que pondrá en máxima producción todo el distrito minero del sureste, con el empleo de una masa laborante de cerca de 40.000 obreros, y con la aplicación de las más avanzadas técnicas de la época en el laboreo de minas. ■



Fig. 4: Vista aérea del poblado argárico de Fuente Alamo (cuevas de Almanzora, Almería). *Historia de Cartagena*. Tomo II. Ediciones Mediterráneo.

NORMAS EDITORIALES PARA «TIERRA Y TECNOLOGIA»

– La **temática de los artículos** deberá estar relacionada, en cuanto a contenido, con las Ciencias y Tecnologías de la Tierra, en el sentido amplio de la palabra; considerando incluibles campos como las Ciencias Medioambientales, la Ordenación del Territorio, la Informática aplicada, la Teledetección, etc. Así mismo, serán aceptables todas aquellas contribuciones de temática no específicamente geológica, pero que incorporen elementos propios de la Geología o cuyo desarrollo pueda aportar conocimientos de interés para ésta, tales como la Arqueología, la Ecología, la conservación del medio ambiente y del patrimonio natural, histórico y artístico, la Ingeniería Civil, etc. Igualmente, sería posible la incorporación de artículos de carácter histórico, geográfico, humanístico, etc., de aplicación no eminentemente práctica, pero que puedan suscitar interés entre el colectivo de geólogos y otros profesionales con los que mantenemos estrechas relaciones.

– La **extensión** no será superior, siempre que sea posible, a 8 hojas DIN A-4 mecanografiadas a doble espacio por una sola cara (equivalente a unas 3.500 palabras) y enumeradas correlativamente. Debe incluirse un breve curriculum del autor o autores, indicando además: nombre y dos apellidos, titulación, empresa u organismo que representa (cuando no se haga a título particular) y cargo desempeñado.

– Se incluirá, con el artículo, un breve **resumen** del contenido del mismo en un máximo de 10 líneas en castellano e inglés, si es posible.

– Se seleccionarán unos **4 párrafos entresacados** del texto, que resaltarán los aspectos más significativos del artículo adjuntándolos en una hoja aparte y numerados por orden.

– Las **figuras** ilustrativas del contenido del artículo (fotografías, gráficos, esquemas, mapas, etc.) se entregarán preferiblemente en forma de diapositiva o como copia de papel lo más nítido posible, evitando una coloración en base a lápices de colores. Las ilustraciones irán numeradas por orden y con su correspondiente texto explicativo. Igualmente en el texto de éste se indicará la figura o gráfico que corresponda.

– El artículo deberá ser **inédito**, es decir, no haber sido publicado en España o en el extranjero, excepto en aquellos casos que así se acuerde.

– Es conveniente que se facilite un índice previo del artículo a elaborar, con el fin de conocer el contenido y así poder evaluar el interés del mismo para su publicación. El trabajo definitivo deberá contar con la **aprobación del Comité Editorial** de la Revista, trámite imprescindible para su publicación.

– Los artículos se entregarán en **copia de papel** y, siempre que sea posible, en **diskette**.



TIERRA Y TECNOLOGIA

BOLETIN DE SUSCRIPCION

REMITIR A: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

Avda. Reina Victoria, 8-4.º B

28003 MADRID

Tel.: 91-5532403

Fax: 91-5330343

SUSCRIPCION, UN AÑO 2.500 PTS.: 4 NUMEROS

Don/Doña	Empresa
Actividad	CIF o DNI
Calle	Tel.
Población	Fax
Provincia	C. P.

Formas de Pago:

☐ Cheque bancario adjunto n.º

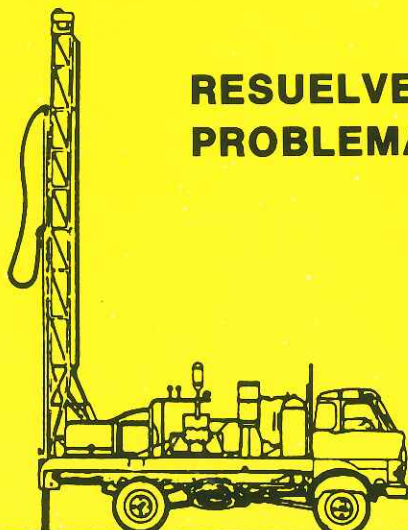
☐ Giro Postal n.º

CONFORME
(Firma y sello de la empresa)

IBERICA DE SONDEOS, S.A.

al servicio de la perforacion desde 1954

RESUELVE CUALQUIER PROBLEMA DE PERFORACION



- MINERIA
- GEOTECNIA
- ALUMBRAMIENTO DE AGUA
- ESTRATIGRAFICOS
- GEOTERMIA
- EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES
- ESPECIALES, ETC.

- Personal altamente experimentado
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Medición de inclinación orientada.
- Rotopercusión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación verticales o inclinados.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc.

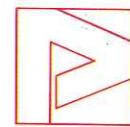
DOMICILIO SOCIAL: López de Hoyos, 13, 1º.

MADRID-28006. Telf. 91-261 08 07*.

Télex 45877 ISON-E. Fax 91-261 88 94

PARQUE, TALLERES y ALMACEN: Ctra. de Toledo,
km 16,800. Pol. Ind. Acedinos FUENLABRADA
(Madrid) Telf. 690.15.35-690.93.12 Fax. 91-690.93.12

TARJETA VISA GEOLOGO



BANCO
POPULAR
ESPAÑOL



¡Solicite su tarjeta!



LLENAS DE VENTAJAS

- *Identificativa del colectivo de geólogos.
- *Seguros especiales de hasta 100 millones de Ptas.
- *Descuentos en cadenas hoteleras y de alquiler de coches.
- *Responsabilidad limitada por uso indebido.
- *Rápida reposición en caso de pérdida o robo.
- *Sin cobro de emisión durante el primer año.



BANCO
POPULAR
ESPAÑOL



BANCO DE
ANDALUCIA



BANCO DE
CASTILLA



BANCO DE
CREDITO BALEAR



BANCO DE
GALICIA



BANCO DE
VASCONIA

SOLICITELAS EN LAS SUCURSALES DEL GRUPO BANCO POPULAR

Recorte y envíe este cupón para solicitar la VISA GEOLOGO, (para Vd. o para su cónyuge), o para solicitar información de la "CUENTA GEOLOGO" a la DIRECCION COMERCIAL DEL GRUPO BANCO POPULAR. Apartado de Correos 53 F.D. 28080 MADRID. Si lo prefiere envíe copia por fax al 91-576 36 64.

Nombre Primer apellido Segundo apellido

Fecha de nacimiento Estado civil ☐ C ☐ S ☐ V ☐ D/S ☐ N.º hijos D.N.I. N.º Colegiado

Domicilio particular (calle o plaza) N.º C.P. Localidad

Lugar de trabajo (empresa, consultoría, universidad, etc.)

Domicilio del lugar de trabajo (calle o plaza) N.º C.P. Localidad

Teléfono de contacto Horas de llamada: Mañana. De a h. Tarde. De a h.

¿Cliente del Grupo ☐ SI BANCO SUCURSAL N.º CUENTA

Banco Popular Español? ☐ NO

Deseo información de la cuenta GEOLOGO ☐ Deseo información de la VISA GEOLOGO ☐ Deseo información del PLAN DE PENSIONES DEL COLEGIO DE GEOLOGOS ☐