

Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

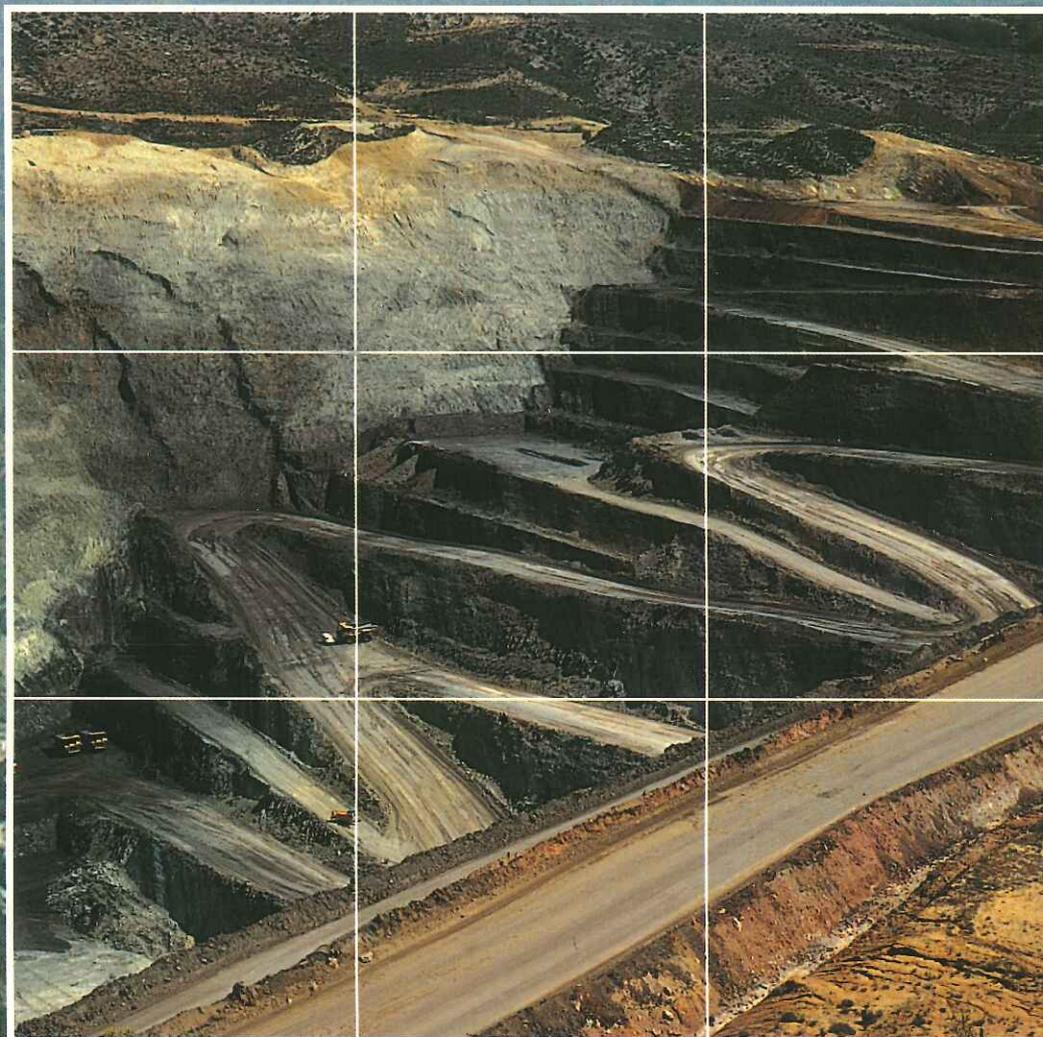
NUMERO 10. 750 PTAS.

Rasgos geológicos
del Pirineo

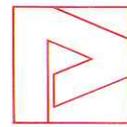
La cuenca minera
de Teruel

La utilización de
Internet
en Geología

El agua en España



SEGUNDO TRIMESTRE. 1995



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 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

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

Enrique Pampliega Higuera

PUBLICIDAD

Fátima Camacho Serna

COMITE EDITORIAL

José Casas Ruiz,
Juan José Durán Valsero,
Manuel Regueiro y González-Barros
Jesús Rodríguez Jurado,
Manuel Rolandi Sánchez-Solís
Peter F. Wouters
Michael Van Der Meer

COLABORADORES

Fernando Moreno Sanz
Angel Carbayo Olivares
Joaquín Lahoz Gimeno
Andrés Pocovi Juan
Fidel Ribera Urenda
María del Carmen Hidalgo Estévez
José Javier Cruz Sanjulián
Ana Sanromán Mendizábal
Jesús Díaz Curiel
Domingo Martín Sánchez
Alfonso Maldonado Zamora
Francisco Carlos Millán Labarta
Carlos Busón Buesa
Luis E. Suárez Ordóñez

FOTOCOMPOSICION E IMPRESION

Gráficas Summa, S. A.

EN PORTADA

La cuenca minera de Teruel. Aspectos geológicos y mineros.
Autor: Francisco Carlos Millán Labarta

ISSN: 1131-5016

Depósito legal: M. 10.137-1992

Editorial 5

hidrogeología

«El agua: Un recurso aforado para un consumo desahogado»,
Fernando Moreno Sanz 7

medio ambiente

«Ecoenergía del gas natural-cogeneración»,
Angel Carbayo Olivares 15

itinerarios geológicos

«Rasgos geológicos del Pirineo aragonés desde el aire»,
Joaquín Lahoz Gimeno y Andrés Pocovi Juan 19

recursos minerales

«La modelización de yacimientos y su aplicabilidad en la prospección de menas metálicas y rocas industriales», *Fidel Ribera Urenda* 35

hidrogeología

«Evolución geoquímica de las aguas subterráneas en una cuenca sedimentaria semiárida (acuífero de Baza-Caniles, Granada, España)»,
María del Carmen Hidalgo Estévez, José Javier Cruz Sanjulián y Ana Sanromán Mendizábal 39

geofísica

«Correlación de sondeos mediante diagráfias. Aplicación al sector oeste de Madrid», *Jesús Díaz Curiel, Domingo Martín Sánchez y Alfonso Maldonado Zamora* 49

recursos minerales

«La cuenca minera de Teruel. Aspectos geológicos y mineros»,
Francisco Carlos Millán Labarta 61

tecnología de la información

«La utilización de internet en la geología», *Carlos Busón Buesa* 68
«Informática» 75

legislación geológica

«La nueva regulación jurídica de la sección A) de la Ley de Minas»,
Luis E. Suárez Ordóñez 77

NORMAS EDITORIALES PARA «TIERRA Y TECNOLOGÍA»

– 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, serían 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 era superior, siempre que sea posible, a 8 hojas DIN A-4 mecanografiados 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 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**.

EDITORIAL

Después de tres años y medio de andadura, la revista TIERRA Y TECNOLOGIA ha alcanzado su número 10, y con él podría considerarse superada su etapa inicial o de arranque y comenzada la de madurez y consolidación.

Los objetivos inicialmente previstos por los que participamos en la apasionante aventura de fundar la revista TIERRA Y TECNOLOGIA creemos que se han cumplido holgadamente, y que no eran otros que los de conseguir crear y consolidar una revista del colectivo de geólogos dedicada a divulgar 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 mundo profesional.

Igualmente, y junto con este ambicioso y atrayente objetivo inicial, nos propusimos el intentar mejorar el panorama actual de nuestra profesión, actuando como foro totalmente abierto e independiente en el que se mostrara el presente del ejercicio profesional de GEOLOGIA, se analizara y estudiara su pasado, y se discutiera y preparara su futuro.

Desde las páginas de los 10 números publicados hasta la fecha, se ha procurado incluir el mayor número de opiniones y criterios posibles, pretendiendo que éstos alcanzaran la mayor diversidad y pluralidad, y que el único y principal punto de contacto fuera la GEOLOGIA.

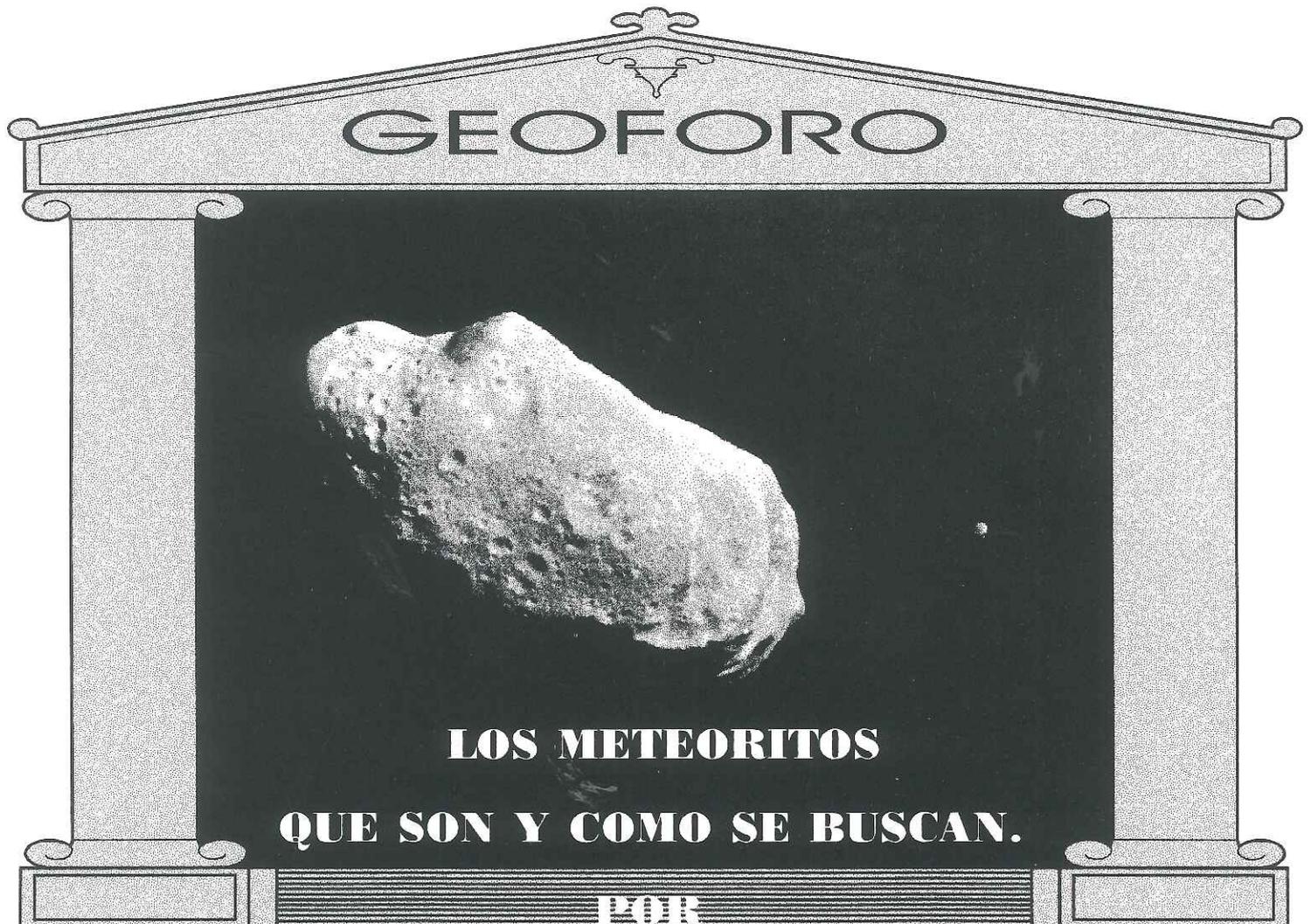
En estos tres años y medio de publicaciones más o menos periódicas—cuya regularidad únicamente se ha visto condicionada por las ineludibles disponibilidades financieras— se han presentado cerca de un centenar de artículos sobre temas muy diversos, como medio ambiente, hidrogeología, ingeniería geológica, geotecnia, minería, subsuelo, investigación diversa, historia de la geología, etc..., así como seis números monográficos dedicados al medio ambiente en España, la hidrogeología de las cuencas del Ebro y del Guadalquivir, la minería en España, y la Geología de Holanda y del archipiélago canario.

Todo ello ha sido posible gracias a la labor y el esfuerzo de un amplio número de colaboradores desinteresados que han posibilitado con sus artículos la configuración de cada número, así como de los diferentes miembros de la Junta de Gobierno, personal administrativo del ICOG y del Comité de Redacción de la revista, a todos los cuales aprovechamos para enviarles nuestro más sincero agradecimiento.

Con el final de una etapa de revista y el comienzo de otra parece conveniente y necesario la renovación de sus órganos de dirección, con el objeto de que nuevas gentes y, sobre todo, nuevas ideas acometan el reto del nuevo periodo de mayoría de edad de la revista TIERRA Y TECNOLOGIA.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS

TERTULIAS DEL GEOFORO



Francisco Anguita Virella

Dr. C. Geológicas. Profesor Titular de la Facultad de C. Geológicas de la UCM. Miembro de The Planetary Society. Fué miembro de la Expedición ANSMET-92 a la Antártida, de búsqueda de meteoritos en el casquete antártico.

Jesús Martínez Frias

Dr. C. Geológicas. Colaborador científico del CSIC en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Miembro de The Planetary Society. Actualmente dirige el proyecto de investigación del CSIC sobre el meteorito de Getafe (1994).

JUEVES, 28 DE SEPTIEMBRE DE 1995 A LAS 19:30 HORAS
SALÓN DE ACTOS DEL ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GÉOLOGOS
AVDA. REINA VICTORIA, 8 4ºB - MADRID

ASISTENCIA LIBRE

EL AGUA: UN RECURSO AFORADO PARA UN CONSUMO DESAFORADO

El autor nos cuenta la problemática de la utilización de un recurso tan importante como es el agua en nuestro país.

The author discusses the problems surrounding the use of water in Spain.

Dr. Fernando Moreno Sanz

**Departamento de Geografía.
Universidad de Alcalá de Henares.**

Introducción

En principio hay que señalar que en nuestro país el agua no es escasa: la dotación per cápita es similar, e incluso algo superior, a la media europea. Pero está muy irregularmente repartida, tanto en el tiempo, como en el espacio. A este respecto, baste recordar la tradicional división geográfica de la Península en España Húmeda, con más de 800 mm anuales de precipitación y una extensión reducida de sólo el 21 % del solar hispano, localizada al N y W, y en España de Transición y Seca (61 y 15 % respectivamente) mucho más extensa pero con menor precipitación, afectada además por la sequía estival propia del clima mediterráneo (su más genuina característica): falta el agua cuando más se necesita, tanto para la vegetación natural como para los cultivos y para el abastecimiento de las aglomeraciones turísticas cuando las temperaturas aprietan... al contrario de lo que ocurre en la Europa de dominio Atlántico.

Nuestros antepasados, conscientes de estos problemas, intentaron paliar la irregularidad en el tiempo mediante la construcción de embalses. Algunos, como los de Cornalbo y Proserpina, en las cercanías de Mérida, son de origen romano. Y gracias a costosísimas inversiones acumuladas, hoy, gracias a la regulación de los caudales de nuestros ríos, podemos aprovechar el 40 % de los recursos. Este mismo porcentaje es el que aprovechan nuestros socios europeos sin necesidad de tantas presas y embalses.

Actualmente, aunque la idea nace allá por los años 30, la moderna tecnología permite paliar la irregularidad en el espacio mediante el trasvase del agua desde las cuencas excedentarias hacia las más deficitarias, todo ello sin olvidar otras propuestas como la con-

tención de la demanda y la optimización de la eficiencia (especialmente en los usos que más consumen, como el regadío) así como la disminución de las pérdidas debidas al transporte.

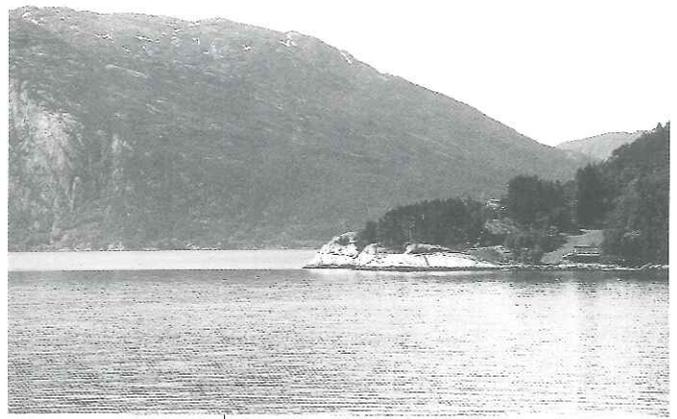
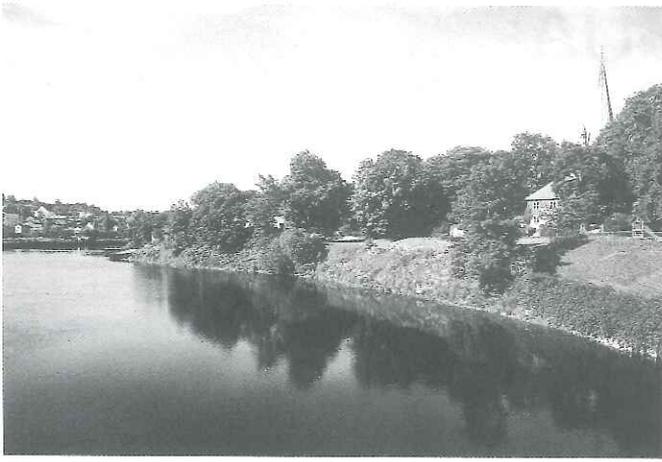
Ante este cúmulo de problemas, a los que se sumaría el agotamiento o salinización de los acuíferos sobreexplotados, surge la necesidad, indicada ya en la Ley de Aguas de 1985, de elaborar un Plan Hidrológico Nacional que dé soluciones tanto respecto a la garantía de cantidad suministrada como en cuanto a su calidad, ocupándose también del deterioro medioambiental y de la prevención de inundaciones. Y cuando hablamos de la cantidad suministrada no sólo hacemos referencia al consumo para el abastecimiento de la población: han de contemplarse todos los usos, desde el regadío a la producción de hidroelectricidad pasando por la refrigeración de las centrales y los usos industriales o de recreo.

Causas naturales del problema

El clima mediterráneo es como es: niega el agua a las plantas, como se ha dicho, cuando más lo necesitan. El hombre ha de aportarla, necesariamente, mediante el regadío. Pero a cambio este clima garantiza el sol y las buenas temperaturas tan necesarias para el buen desarrollo de las plantas.

Otra característica, además de la escasez de precipitaciones en la España de Transición y Seca, es la torrencialidad de las precipitaciones: a veces en un par de días llueve lo que en todo un año, con las graves consecuencias de todos conocidas (en Buseo -Valencia- cuando la catastrófica riada del Turia, cayó lo de 2 años en 24 horas).

Cuando la evaporación, directa



desde el suelo o a través de la vegetación, supera a la precipitación, el suelo se reseca y sólo la vegetación adaptada a la sequía estival logra resistir la aridez de estos meses. Para comprender mejor la magnitud del fenómeno, veremos a continuación cómo se carga de humedad el suelo, y cómo la va perdiendo.

Cuando ya la lluvia supera lo que consume la vegetación, dando inicio al otoño meteorológico, el suelo empieza a retener humedad. Esto ocurre a partir del 15 de agosto en el País Vasco y Pirineos, pero va retrasándose conforme avanzamos hacia el sur. La isocrona del 1.º de octubre separa, aproximadamente, la España Húmeda del resto, y coincide más o menos con la isoyeta de 800 mm (o litros/m², como prefiera el lector) que delimita ambos espacios: es el mundo pirenaico, la Cordillera Cantábrica con el norte de Burgos y León, además del País Vasco y Galicia. Por su parte, la isocrona del 1.º de noviembre, que muestra la tardía aparición de ese otoño meteorológico (y por tanto la extensión del árido estío) engloba una extensa zona del valle del Ebro y del sureste peninsular.

A medida que transcurre la estación húmeda, el suelo va empapándose hasta alcanzar su nivel de saturación, estimado como promedio en torno a los 100 mm (Almarza Mata, 1984), mucho antes, como es lógico, en la España Húmeda (hacia el 1.º de diciembre) y retrasándose hacia el sur y el este. De este modo, incluso amplios sectores de la cuenca del Ebro (Zaragoza, Teruel y Lérida) y del sureste (Albacete, Alicante, Murcia y Almería) quedan delimitados por la isocrona del 1.º de marzo y sus suelos ya no alcanzan en todo el año el nivel de saturación de su reserva: quedan permanentemente por debajo de dicho ni-

vel, por lo que no se producirá ni la aparición de escorrentía ni la recarga de los acuíferos.

En la España Húmeda, la reserva de agua del suelo se mantiene, para el nivel de saturación que hemos considerado, hasta poco más allá del 1.º de agosto, con el consiguiente ahorro de riegos que, en la cuenca mediterránea comienzan a ser necesarios a partir de abril, y desde mediados de junio en los valles del Guadalquivir y el Ebro.

El caudal de nuestros ríos refleja claramente la pluviometría de sus cuencas. En términos absolutos nuestros grandes ríos arrojan unos caudales medios anuales similares a los de otros grandes ríos europeos: el Ebro, que es el más caudaloso, tras recorrer 880 Km, vierte poco más de 600 m³/s, mientras que el Sena ronda los 500. Pero el resto de los ríos mediterráneos, por avenar cuencas semiáridas donde apenas llueve, y con intensa evaporación, contarían con caudales medios insignificantes.

Mejor que en los datos medios anuales debemos fijarnos en los caudales relativos, que son más expresivos al tener en cuenta la superficie de las respectivas cuencas: así los más norteños presentan valores en torno a los 20 l/seg/Km², e incluso cercanos a los 30, como el Rin, mientras que en el sur y en la zona semiárida raramente se alcanza la décima parte (1,6 en el Guadiana y 0,6 en el Vinalopó).

A estas diferencias entre unos y otros ríos se une su gran irregularidad, fruto en parte de las características de las cuencas, pero sobre todo de la torrencialidad y del estiaje acusado del clima mediterráneo. Así, la irregularidad oscila entre 2 y 3 en los ríos de la vertiente cantábrica, donde las fluctuaciones del clima son mucho menos acusadas; en la Meseta, con veranos

muy secos y, consecuentemente, estiajes muy acusados, la irregularidad alcanza de 9 a 12, siendo aún mayor en el sur, especialmente en los ríos de carácter torrencial, donde se alcanzan valores superiores a 100.

Pero estas oscilaciones de los valores medios mensuales son aún mayores si consideramos los valores extremos alcanzados, al comparar los mínimos caudales del estiaje con los máximos de las grandes avenidas. Gran parte de nuestros ríos mediterráneos pueden atravesarse a pie y sin mojarse, al estar su cauce seco convertido en camino. Sin embargo en otoño son el escenario de avenidas de distinta magnitud, en ocasiones trágicas por las pérdidas de vidas humanas y económicas. Incluso el Tajo, en el verano de 1798 podía atravesarse a pie enjuto por la ciudad de Santarem, a falta tan sólo de recorrer unos 50 Km para alcanzar el Mar de la Paja, registrando en la crecida de 1876 un caudal instantáneo de 16.000 m³/s cuando su media es de unos 480 en la desembocadura, y subiendo su nivel hasta casi 30 m en Alcántara (Solé Sabaris, 1978).

Si a todo esto añadimos que el 75 % de los recursos hidráulicos vierten al Atlántico, se intuye la necesidad de considerar como soluciones prioritarias, junto a nuestros antepasados, aquellas que permitan almacenar, regular y trasvasar.

Comenzábamos este epígrafe aludiendo a las características del clima mediterráneo y a la sequía estival. Pero esa irregular distribución de la precipitación no sólo tiene lugar cada año: hay además períodos de varios años en que la precipitación deviene inferior a la media, alternando con otros normales o superiores. Cuando, como ocurre en el sur durante los tres últimos años, las precipitaciones no alcanzan ese valor



medio o normal, se presenta la sequía, fenómeno absolutamente normal dentro de la variabilidad climática mediterránea, por lo que no cabe argumentar, hoy por hoy, sobre la incidencia de un cambio climático: el anticiclón de las Azores impide el paso desde el oeste de las borrascas atlánticas, que sólo (y casi de refilón) dejan precipitaciones en la zona norte del país. Si el anticiclón se debilita o se retira de su posición habitual, las lluvias que traen los vientos del suroeste barren la Meseta y Andalucía dirigiéndose hacia el este. Pero si ocurre lo contrario, y a veces es normal que durante varios años seguidos falten no sólo las lluvias de primavera, sino también las de otoño, entonces nos encontramos ante uno de esos períodos de «pertenaz sequía» que jalonan toda nuestra historia. En un amplio sector de la cuenca del Duero, a modo de ejemplo, hemos podido apreciar, revisando documentos desde el siglo XV, que por término medio hay una sequía grave cada 25 años, pero entre medias, hay otras menores cada 5-10 años.

Estamos, pues, ante un fenómeno cuyas causas son típicamente naturales, sin que quepa culpar al hombre, al menos por el momento, de haber provocado ningún cambio climático al respecto.

El consumo excesivo y sus consecuencias

Como se reconoce en la síntesis de la documentación para el Plan Hidrológico (MOPU, 1990), muchos de los datos sobre el empleo actual del agua son conocidos mediante encuestas y pesquisas en el terreno, siendo con frecuencia fragmentarios e incompletos. Pero siempre serán útiles para determinar las demandas, informando a su vez

sobre las situaciones de escasez o de derroche, y sobre la calidad. Los datos pormenorizados, por cuencas o globales, pueden consultarse en la publicación mencionada, por lo que sólo haremos aquí alguna sucinta referencia a ellos.

Dentro de los usos consuntivos destacan, como ya se advirtió, los usos agrarios: nuestras 3.000.000 de Has de regadío demandan en torno al 82 % de los recursos disponibles, mientras que los usos urbanos e industriales sólo utilizan el 18 % restante (12 y 6 % respectivamente).

Para tener una idea del consumo real diremos que las dotaciones medias para el consumo urbano, con un valor de 307 l/hab/día, oscilan entre valores próximos a los 200 l/h/día en las cuencas del norte y del Guadiana, y los 404 en las poblaciones de la cuenca del Segura. En el caso de Madrid, traído aquí por lo que representa en cuanto al fenómeno urbano, se ha pasado de una dotación de poco más de 300 l/h/día en 1950 a valores en torno a 350 en la actualidad. Las nuevas formas y calidad de vida exigen estos consumos, muy lejos de aquellos 6 l/h/día que en 1850, antes de la construcción del Canal de Isabel II, constituían la dotación de los madrileños, y con un precio unas 50 veces el actual, servida por cerca de un millar de aguaceros con sus 36.000 cubas de madera para el reparto domiciliario a partir de las 77 fuentes públicas que abastecían cuatro antiguos viajes de agua (de tiempos de Felipe II y Felipe III).

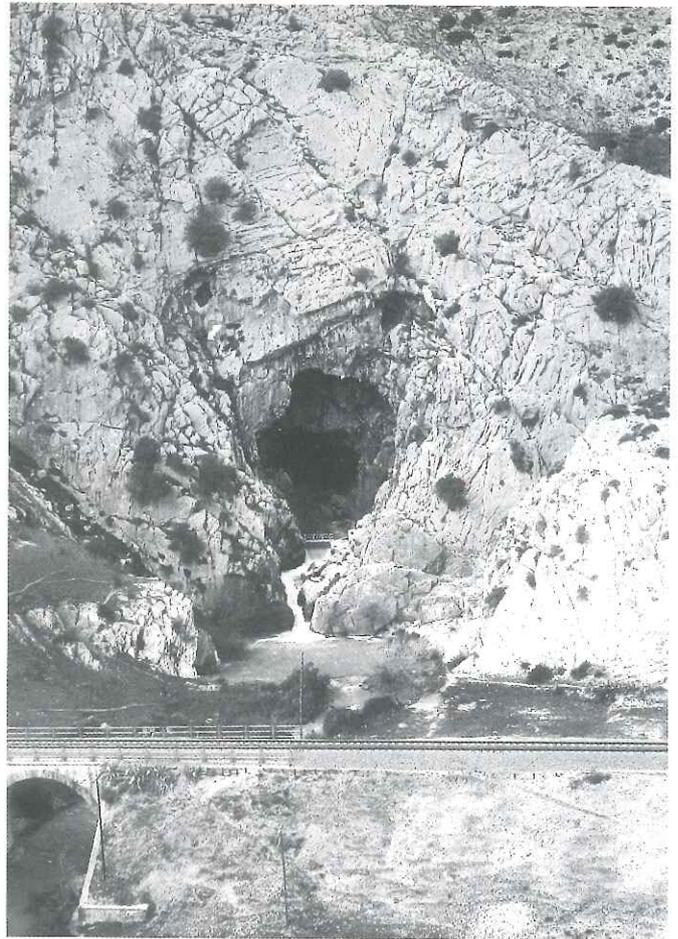
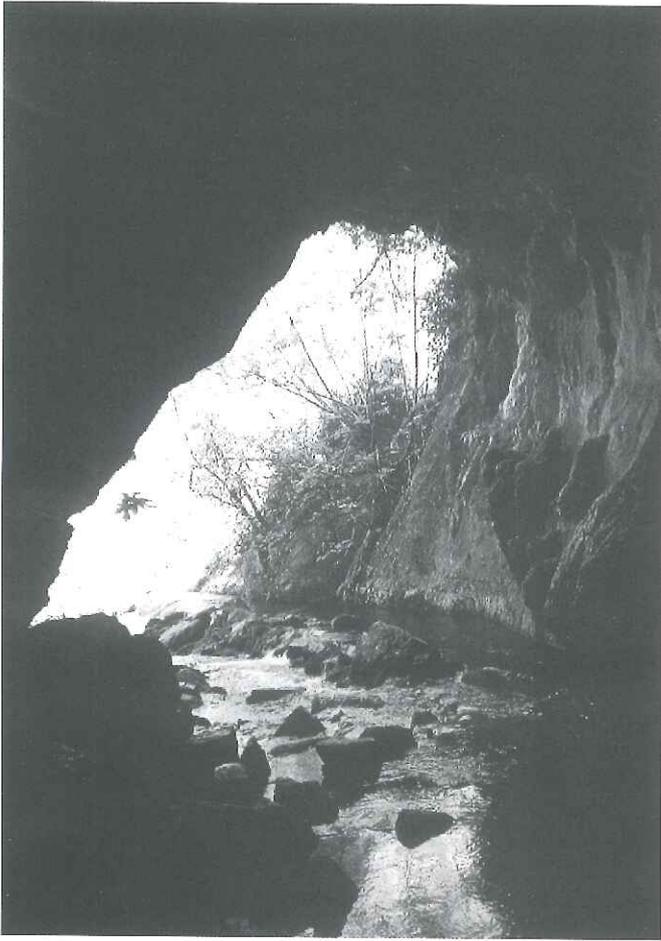
Respecto al consumo para el campo, la dotación agraria presenta un valor medio de 7.600 m³/Ha/año, variando por cuencas desde 5.800 m³/Ha/año en el sur a casi 9.000 en el Tajo. Estas grandes diferencias no pueden deberse exclusivamente a la diversidad de cul-

tivos y a su predominio en unos u otros lugares (el maíz, cultivo dominante en el sector medio de la cuenca del Tajo en los últimos años, requiere allí unos 6.000 m³/Ha/año, mientras que hace falta 7.000 para la alfalfa y sólo 400 para la cebada). Hay que tener en cuenta el manejo adecuado del agua, la eficiencia del riego que, en áreas sin tradición regante o con sistemas tradicionales descuidados, pueden suponer unas pérdidas del 40 % del agua que se destina a la agricultura.

La demanda futura global para el total de nuestras cuencas y para el horizonte 2000 se puede cifrar en 35.000 Hm³/año frente a los 26.000 actuales (para todos los usos). Si, según las previsiones oficiales, la demanda urbana se incrementará por encima del 20 %, y la agraria en torno al 35 %, ello exigirá una decidida y sostenida actuación institucional, pues no cabe esperar el interés de la iniciativa privada, máxime si se tiene en cuenta el bajísimo precio del agua que, por razones históricas y sociales, se mantiene para la agricultura (e incluso para los demás usos también tenemos el agua más barata de Europa).

A finales del pasado año 94, el Libro Blanco sobre las aguas subterráneas elaborado conjuntamente por los ministerios de Obras Públicas e Industria exponía crudamente la situación a la que se ha llegado por la sobreexplotación y la contaminación de nuestras reservas de agua contenidas en el subsuelo. Bueno... ésto donde hay acuíferos, pues Galicia, Extremadura, buena parte de Castilla-La Mancha y de Andalucía, así como del centro de Aragón, carecen de tan preciadas reservas.

Nuestros pozos permiten regar 700.000 Has (y otras 300.000 reciben riego mixto) del total de los 3.000.000 a que nos hemos referido anteriormen-



te. Pero a causa de la sobreexplotación, al sacar en muchas áreas más de lo que permite la recarga anual (20.000 Hm³/año para la totalidad de nuestros acuíferos) nos encontramos ante un déficit que supera los 700 Hm³.

Además, de estas aguas se abastecen 12 millones de habitantes, entre ellos los de ciudades tan populosas como Barcelona, Valencia, Bilbao, Granada, Alicante, Vitoria, Santander, Oviedo, Pamplona, Burgos, Cádiz, etc. cuyo consumo alcanza los 1.080 Hm³/año. Aparte de la Comunidad Canaria, cuya dependencia de estas aguas para el abastecimiento urbano es del 100 %, la proporción oscila en las demás entre los valores más bajos de Madrid (3 %) y Murcia (4 %), y los más altos de Baleares (95 %), C. Valenciana (52 %), Navarra (44 %) y Andalucía (43 %). En resumen: el 31 % de la población española bebe de pozos.

La sobreexplotación antes aludida afecta a 51 de los 391 acuíferos existentes en tierras del interior, mientras que de los 82 acuíferos costeros, la sobreexplotación ha conducido a la salinización por intrusión de las aguas marinas, a un total de 39. Y para colmo de males, la contaminación de todo tipo

amenaza gravemente a más de la cuarta parte de las reservas, que junto con las que sufren un riesgo moderado suponen más del 60 % del total. Los vertidos urbanos e industriales junto con los derivados de la ganadería estabulada, pero sobre todo los efectos de la contaminación difusa producida por la agricultura intensiva (fertilizantes no consumidos por los cultivos, tratamientos fitosanitarios, herbicidas, etc.) constituyen una espoleta de efecto retardado que supone la más grave amenaza medioambiental que gravita sobre nosotros, si bien nuestra atención, debido a campañas de prensa internacionales, se centra más en los temas del «cambio global» (efecto invernadero, agujero de ozono, etc.) cuando es mucho más preocupante lo que está ocurriendo en nuestra casa donde, como hemos dicho, vemos potenciada la sobreexplotación con la contaminación.

Algunos efectos de esa sobreexplotación son de todos conocidos: el agotamiento paulatino (descenso de casi 2 m al año en el nivel freático) del acuífero n.º 23 en el Guadiana, provocó allá por 1981 que se secaran los Ojos del Guadiana, cuyas fuentes, secas desde entonces, han permitido que

el oxígeno atmosférico se combine, en lenta combustión, con la turba que se generó en el humedal: un paisaje de ardiente desolación puede recorrerse (sin salirse de los caminos, pues hay riesgo de que las cenizas cedan bajo los pies) en unos cuantos Km, entre los humos exhalados por un subsuelo que ha entrado en combustión espontánea, donde antes había un extenso humedal salpicado de islas verdes al sur de Villarrubia de los Ojos.

Otra de las consecuencias de la sobreexplotación de ese mismo acuífero es la agonía, prolongada mediante trasvases desde el Tajo y a través del Cigüela, de las Tablas de Daimiel. Apenas 50 Has mantienen la lámina de agua, del total de más de 2.000 que, en otros tiempos, integraban la zona de invernada de importantes cantidades de anátidas europeas. De esas inyecciones del Trasvase Tajo-Segura (en torno a 15-17 Hm² según el año) apenas llega a las Tablas el 10 %: el resto se consume (quién sabe si deliberadamente) en el trayecto, recargando el reseco acuífero.

De las restricciones al abastecimiento, de los recortes en los riegos o incluso del abandono del regadío en

extensas áreas, consecuencias no de la sequía como se pretende, sino sobre todo del desahogado consumo y de la falta de infraestructuras, nos vamos a ocupar en el epígrafe siguiente.

Soluciones para una difícil situación

En la cuenca mediterránea se prevé un aumento en el consumo doméstico debido al turismo que supera por poco el 1 % anual hasta llegar a una dotación de 300 l/hab/día en el año 2000, estabilizándose a partir de entonces. En España, hemos visto que superamos ya esa cifra (media de 307 l/h/día para el conjunto de toda la población) y además el consumo se prevé que crezca el 2 % anual, complicando más la situación.

En el conjunto de países mediterráneos no es la urbanización la responsable principal de la situación crítica previsible en el suministro de agua. Según los datos aportados al Plan Azul de Grenon y Batisse (1990), parece que sumando incluso los consumos domésticos rurales y los del turismo, el abastecimiento supone tan sólo del 5 al 7 % del total de la demanda hídrica: nuevamente España destaca con una demanda que duplica esas cifras, con lo que ello implica en cuanto a prioridades y conflictividad con otros usos. Globalmente son las necesidades para la agricultura las preponderantes, tanto que en algunos países (Siria, Israel, Egipto, Libia y Túnez) supone un cuello de botella para su desarrollo al no disponer, como en nuestro caso, de caudales excedentarios trasvasables.

El Plan Azul, al estudiar las disponibilidades de agua para el 2025, sitúa a España junto con Marruecos, Argelia y Chipre en el grupo en el que, aunque hoy las disponibilidades son todavía buenas, se verán reducidas sensiblemente. Por eso pronostica que, si los consumos per cápita se mantienen como actualmente, las demandas globales hasta esa fecha sólo se podrán satisfacer si se acometen nuevas actuaciones y grandes trasvases de agua interregionales.

Hay, como estamos viendo, un constante problema de consumo al que se sobrepone el de la existencia de períodos secos: así a una sequía consumista o estructural, se añade la climática natural cuando escasean las precipitaciones. Sabemos que aunque

llueva lo normal, la sequía estructural continuará (si no se modifican los hábitos de consumo, los usos, etc., y se crean nuevas infraestructuras) y tan sólo se mitigará en los períodos más húmedos que, en lógica e histórica sucesión, alternarán con los secos. En cualquier caso, más que de soluciones totales, cabe hablar de métodos paliativos, pero a dos escalas, según se apliquen a la sequía estructural o a la periódica natural propia de nuestro clima.

Actualmente estamos viendo cómo los efectos de la sequía natural (grave ya tras tres años secos) en el sur va creando un estado de ánimo favorable en la población para acometer las costosas inversiones y obras, asumiendo riesgos y sacrificios, que permitan solucionar la sequía estructural.

Ya antes hemos aludido a lo que consideramos el primer problema medioambiental de nuestro país, la contaminación de las aguas, y especialmente las subterráneas por su lenta recuperación y efectos retardados. Como no tiene trascendencia económica inmediata, la atención popular se centra, influida como se ha dicho, por informaciones del exterior, en lo relacionado con el clima o la meteorología. En este sentido cabe dar cuenta aquí de un pequeño estudio realizado sobre la tercera parte del colectivo de 250 examinados para el acceso a la Universidad de mayores de 25 años, elegidos por orden alfabético entre quienes optaron por contestar al tema que versaba sobre las causas de la escasez de agua.

Se trata de la primera de las pruebas realizadas este año y de ahí su valor como termómetro de la opinión actual en ese grupo social. Pues bien: de las diversas causas posibles de la escasez, sólo el 4 % valoró en primer lugar el incremento del consumo, mientras que para el 86 % la primera causa era la acción del hombre a través del cambio climático.

Al analizar las causas del cambio climático, el 24 % justificó el aumento de temperatura, y la consiguiente sequía, como consecuencia primordial de la «deforestación indiscriminada, que provoca sequía al no existir los bosques que atraían las nubes y con ello la lluvia». Otro 28 % responsabiliza de la sequía al agujero de la capa de ozono. Finalmente, el 47 % restante, situó en primer lugar el efecto invernadero producido al acumularse el CO₂ en la atmósfera.

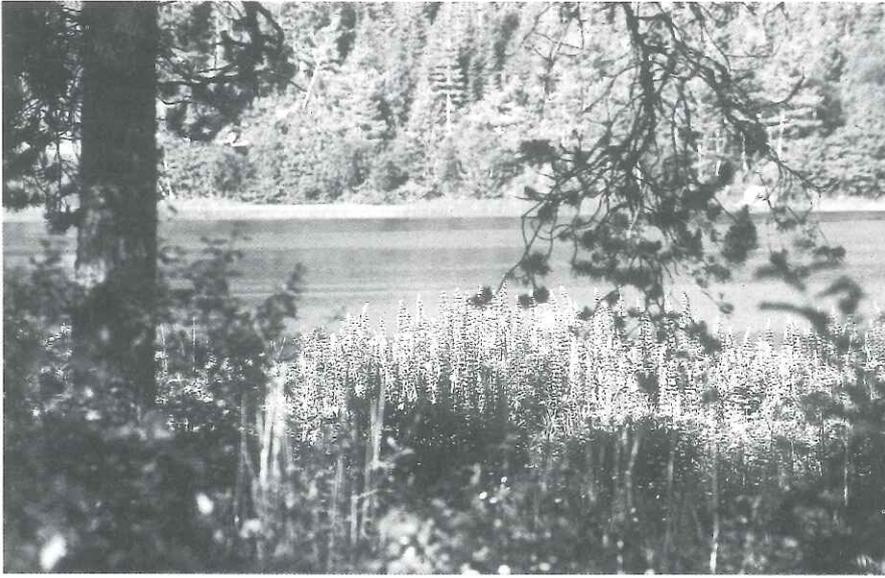
Del 86 % que consideraba el cambio climático como principal responsable, más de la mitad (61 %) apreciaba ese cambio como algo científicamente comprobado e indiscutible, que ya había supuesto, para el 12 %, una alteración «importante», «grave», e incluso «extremada». La mayor parte de este último grupo responsabiliza al cambio climático de origen antrópico tanto de la sequía como de las inundaciones, torrencialidad de las lluvias, erosión...

Curiosamente, los incendios forestales figuran como causa de segundo o tercer orden respecto al cambio climático para el 14 % de la muestra. De entre quienes analizan las causas de esos incendios, nadie repara en posibles causas naturales o accidentes fortuitos: piensan que todos son intencionados «para conseguir nuevos espacios agrícolas» o «para especulación inmobiliaria». Tan sólo el 2 % de la muestra valoró el cambio climático como una hipótesis del trabajo actual de los científicos, pendiente aún de comprobación.

Es triste, después de esto, comprobar a qué conduce el tratamiento pseudocientífico de estos temas por los medios de comunicación, amplificados además por la prensa sensacionalista. Pero tampoco son ajenos ciertos políticos que saben muy bien que los votos están en las ciudades y no en el campo vacío, y a quienes conviene hacer creer que la escasez es producto de la sequía, nunca de la imprevisión, ni de la irresponsabilidad del consumidor: es muy cómodo y útil echarle la culpa al cambio climático...

Voces de alarma nos preparan para el esfuerzo colectivo: el ICONA anuncia que el 75 % de los bosques del sur de España están seriamente dañados por la sequía; Obras Públicas presenta un dramático informe dando cuenta de la pérdida de más de 1.200.000 Has de regadío y de la ampliación de las restricciones a partir de otoño, que afectarán a 8 millones de españoles, especialmente en las zonas turísticas de Málaga y Cádiz, con reservas que no llegarán a fin de año.

Como el problema (el ocasionado por la sequía natural) está ya aquí mismo, se proponen soluciones coyunturales rápidas, aparte de las generales previstas para más largo plazo (para hacer frente a la suma de esa sequía más la estructural) en el Plan Hidrológico Nacional. Entre las de coyuntura, sin enumerar las numerosas actuaciones concretas, señalaremos la



provisión de fondos para obras (pozos, trasvases de urgencia) y para compensaciones en la renta de los agricultores afectados, seguidas de la ejecución de los proyectos. Muchos agricultores de Castilla-La Mancha, Andalucía y Extremadura no podrán cultivar las extensiones que la P.A.C. les autoriza para el maíz; en Castilla-La Mancha y Andalucía también se recortará este año la remolacha; y en Andalucía deberá recortarse el arroz y el algodón. Ya se perfila, y en muchos casos es una realidad, la necesidad de abandonar cultivos de alto consumo como el maíz, para dar paso a otros más austeros, como el girasol. Pero entonces existe el peligro de superar las cuotas fijadas por la PAC con el grave riesgo de penalización desde Bruselas a nuestros agricultores, a pesar de haberse quedado en los otros cultivos muy por debajo del techo fijado por la Unión Europea.

Problemas de aplicación de las soluciones

Una vez expuesto este complejo panorama vamos a examinar algunas de las dificultades que conlleva la aplicación de las posibles soluciones.

El Plan Hidrológico Nacional, como conjunto de soluciones en el marco de los próximos 20 años debería, de haber estado bien confeccionado, estar ya en ejecución. Sin embargo cuenta con un notable retraso al depender de la previa aprobación de los Planes Hidrológicos de Cuenca, y de que se le incorpore un Plan Agrario de Regadíos que explique la necesidad de las actuaciones.

En este sentido, es muy importante el giro que se vislumbra en la PAC acerca de la conveniencia de ciertos nuevos regadíos que generen riqueza y permitan fijar la población en zonas deprimidas, en vez de, como hasta ahora, subvencionar el abandono de los cultivos poco rentables. Ese plan de riegos, elaborado conjuntamente por Agricultura y Obras Públicas se plantea actuar, en los 20 años de referencia, sobre 1,8 millones de hectáreas, comprendiendo no sólo la ampliación y mejora de los existentes, sino la creación de nuevos espacios regados, para todo lo cual no bastará con redistribuir los recursos: ha de elevarse, además, el ahorro hasta cerca del 10 % de esos recursos.

Ya hemos dicho en otro lugar que el Plan Hidrológico Nacional prevé, entre otras, y como actuaciones de primera magnitud, el aumento de la capacidad de agua embalsada, y su trasvase. Y es aquí, en lo relativo a los trasvases, donde se centran las críticas al plan (sin que por ello falten en otros puntos).

A pesar del tiempo transcurrido, parecen las mismas voces, los mismos argumentos, que se levantaron contra el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de Lorenzo Pardo (1933) al considerar a la región mediterránea —la peor dotada hidrológicamente— como la de mejores condiciones productivas y por tanto a potenciar de cara a las exportaciones, mediante la derivación de las aguas de los ríos Tajo y Guadiana. Para qué hablar de las críticas en la prensa de entonces, tan actuales hoy, basadas en «la preterición de Castilla» condenada a sufrir el sequo y siempre

en inferioridad, esquilmada por un Plan que «no tenía nada de Nacional» (Ortega, 1992) y era considerado desfavorablemente promediterráneo).

Este mismo año asistimos a la agria polémica entre la administración central y algunas autonomías acerca de la propiedad del agua. «¿Por qué no trasvasar también riqueza y bienestar?», se quejaba días atrás el presidente de Castilla-La Mancha, puntualizando que el agua es de quien más la necesita, y no de quien más grita o la ha usado históricamente, teniendo en cuenta, ante todo, que es un factor de riqueza (*El País*, 16 abril 95).

Aquí radica la principal dificultad: la riqueza se lleva mal con la solidaridad; además, tenemos tendencia a considerar como tal el regalar lo que nos sobra, pero eso no es la auténtica solidaridad. Es verdad que en las tierras del interior hay pretensiones históricas de transformación en regadío, pero no es menos cierto que en el área mediterránea y en el sur donde los regadíos permiten obtener el mayor valor añadido del agua, gracias no sólo al rendimiento, sino a los productos extratemperanos o de primor, con alto valor en Europa. El agricultor de secano ha visto cómo en 45 años se ha duplicado la superficie regada, que ya es hoy el 6 % de la española (y el 15 % de la superficie agrícola). Y lo que es más importante: es consciente que de ella se obtiene el 50 % de la producción total agrícola (Pérez Ybarra, 1994) y quiere participar en esa generación de riqueza que, al menos teóricamente, producirá el regadío de sus tierras.

Poner de acuerdo estos intereses es uno de los grandes retos de los políticos de nuestro tiempo, sobre todo para que no se hipoteque el desarrollo futuro (agrario, industrial, turístico, etc.) en las regiones que hoy se considera excedentarias y que, en un futuro no lejano, puedan dejar de serlo.

Por otro lado, ya hemos hablado del agua como bien escaso y generador de riqueza al que hay que tratar como un bien económico y no como un servicio público suministrado a bajo precio por razones políticas. Su precio debe ser realista, comprendiendo todos los costes desde la captación hasta que llega al usuario, incluyendo las amortizaciones de las obras, su conservación, los costes medioambientales (sobre todo la depuración), etc. Además, como bien económico, se verá sujeto, al entrar en competencia los diversos



usos, al precio que fije el mercado en función de la mejor oportunidad de uso: aquella que proporcione mayor valor añadido en el conjunto de esos usos alternativos. Así, no debemos extrañarnos que se utilice en servicios de recreo, ocio o en actividades turísticas antes que en la agricultura: analicemos la capacidad de pago de una hectárea de cebada frente a esa superficie en un campo de golf (sin hacer mención a la ubicación geográfica de ambas —centro frente a periferia o regiones insulares—).

En este punto, los gobernantes tienen otro reto ante ellos: fin del servicio público, pero no total abandono a las veleidades del mercado sin conciencia. La tarea debe comenzar con una labor seria de educación frente al consumo, propiciando el ahorro y acercando progresivamente los precios a los costes reales. La última campaña (año 92) del Canal de Isabel II, empresa suministradora de agua en la Comunidad de Madrid, consiguió ahorrar el 20 % de los recursos, y eso que en Madrid el agua cuesta casi la mitad que en Barcelona.

Pero el verdadero consumidor sigue y seguirá siendo la agricultura. Como vimos, supone más del 80 % de los recursos y, naturalmente, paga por el agua un precio muy inferior (no se le repercute nada del coste medioambiental de la contaminación que produce, al igual que ocurre aún en muchas ciudades). Así, mientras el precio por metro cúbico para abastecimiento urbano o para la industria se sitúa en España en torno a 120 ptas. (Barcelona con 210 presenta el mayor), ese metro cúbico en el campo, para los beneficiarios de los futuros trasvases, según el titular del Ministerio de Obras Públicas, se situaría entre 30 y 60 ptas. (el agua desalinizada costaría 4 veces más, que es lo que se paga en Las Palmas, y no hay cultivo que lo pague).

El ahorro no sólo se fomenta elevando el precio. Es preciso además cambiar los hábitos de consumo y optimizar los rendimientos. Mediante depuración y reutilización también se ahorraría, liberando otros caudales (los de mayor calidad) para el abastecimiento humano, pero como se trata de obras costosas y que necesitan cierto tiempo para entrar en operación, es muy probable que se destinen caudales del riego al abastecimiento, con la necesaria —y coyuntural, esperamos— reducción de la superficie regada, especialmente en las áreas donde la ratio uso agrícola/uso urbano-industrial es mayor (como en la cuenca del Guadiana, agravada, como se dijo, por la sobreexplotación de sus acuíferos).

Aún así, contemplando el ahorro por reutilización de aguas residuales y por mejora de la eficiencia del riego, se necesitarían cerca de 600 Hm³ anuales para mantener el hoy comprometido desarrollo del Levante español. Y no parece que haya mejor alternativa a la que se propone: «coser España con tuberías», como ha criticado en repetidas ocasiones el catedrático de Hidrogeología Ramón Llamas, quien presenta la «escuela» de los que abogan por la utilización de los recursos subterráneos frente a quienes prefieren las obras de superficie. Para ello, entre sus argumentos hay uno ciertamente de peso: la mala calidad, cuando no carencia, de muchos de los datos empleados en la evaluación de los recursos, reconocida en el propio Plan Hidrológico (MOPU, 1990) al exponer las aportaciones subterráneas.

Y ya para terminar, otro reto para nuestros gobernantes será el asumir decididamente que la falta de agua es algo normal en nuestro país, destinando las partidas necesarias en los presupuestos ordinarios (los que aprueba el

Parlamento) para paliar sus efectos. Se debe abandonar la práctica viciada de provisión de fondos «extraordinarios» para hacer frente a algo que, en realidad, y a poca memoria histórica que se tenga, no es tal.

Por nuestra parte, el resto de los consumidores deberemos mentalizarnos también respecto a esa carencia, natural y provocada, que puede colapsar el desarrollo si no se racionaliza el uso y se redistribuyen los recursos, pero velando siempre por que no se aumenten las desigualdades en cuanto a la riqueza y expectativas entre unas y otras regiones. En todo caso, en el futuro siempre habrá «sequía», llueva lo que llueva, pues es nuestro consumo el principal responsable: debemos adaptarnos a la situación creada de la mejor manera posible, invirtiendo los recursos necesarios y asumiendo las cargas que ello implique. ■

«Razón y Fe»

Julio-Agosto, 1995

Bibliografía

- ALMARZA MATA (1984): *Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos*. 3 tomos. I.N.M., Madrid.
- GRENON, M. y BATISSE, M. (1990): *El Plan Azul: el futuro de la Cuenca Mediterránea*. Monografías de la S.G. del M.A., MOP y T., Madrid.
- MOPU (1990): *Plan Hidrológico. Síntesis de la documentación básica*. Dirección Gral. de Obras Públicas. Madrid.
- ORTEGA CANTERO (1992): «El Plan Nacional de Obras Hidráulicas». En *Hitos históricos de los regadíos españoles*. Dir. por Gil Olcina y Morales Gil. MAPA. Madrid, pp. 335-364.
- PEREZ YBARRA (1994): «Alteraciones ambientales en las transformaciones en regadíos». *El Campo*. BBV, Bilbao, pp. 117-132.
- SOLE SABARIS (1978): «Las aguas: ríos y lagos». En *Geografía General de España* (Dir. por Terán, M. y Solé Sabaris, L.), Ariel, Barcelona, pp. 182-208.

SEGURO MULTIRRIESGO DEL HOGAR ESPECIAL MIEMBROS DEL I.C.O.G.

Estas son algunas de sus ventajas:

- * Incendio, explosión, autoexplosión y caída del rayo.
- * Daños eléctricos.
- * Daños por agua (albañilería, fontanería, pintura), sin aplicación de regla proporcional.
- * Daños estéticos.
- * Responsabilidad Civil hasta 50.000.000.
- * Atraco en la calle con la cobertura más amplia del mercado.
- * Asistencia en el hogar con servicio de urgencias 24 horas.
- * Claridad en la redacción.
- * Primas altamente competitivas a las que añadimos una bonificación especial para los miembros del I.C.O.G.
- * Asesoramiento especializado y atención personal y esmerada por auténticos profesionales del Seguro.

EJEMPLO:

Piso vivienda habitual con los siguientes capitales:

Continente	5.000.000
Contenido	3.000.000
TOTAL AÑO	12.352

Compañía aseguradora Bâloise Pastor Seguros y Reaseguros, S. A.

Para información y contratación dirigirse a Correduría de Seguros Descalzo & Asociados, S. L. en los teléfonos 715 79 79 y 351 27 31 en horario de 8 de la mañana a 8 de la tarde.

OTROS SERVICIOS

- * Seguros de Vida y Ahorro.
- * Jubilación.
- * Accidentes.
- * Automóviles.
- * Multirriesgo de Comercios.
- * Multirriesgo de Oficinas.
- * Multirriesgo de Pymes.
- * Seguros de Salud.

Le asesoramos gratuitamente y sin compromiso sobre los seguros que tenga contratados.

Correduría de Seguros Descalzo & Asociados, S. L.
Noria de la Paz, 15
28223 POZUELO DE ALARCON. MADRID
Tfnos: 351 27 31 / 715 79 79 - Fax: 715 79 79

Desde 1983 colaborando con el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

ECOENERGIA DEL GAS NATURAL-COGENERACION



Angel Carbayo Olivares

Colegiado n.º 506. En la actualidad trabaja en REPSOL Exploraciones, Vocal de Hidrocarburos y Energía de la Junta de Gobierno del I.C.O.G.

La combinación del uso del gas natural con el de un método de ahorro energético óptimo tal como la cogeneración conduce a un resultado muy satisfactorio en la doble vertiente de impacto ambiental y rentabilidad.

The combination of natural gas use with that of an optimal energy-saving method such as cogeneration produces a very satisfactory result in environmental impact and profitability.

Introducción

El incremento de emisiones de los tres principales gases-traza que existen en la atmósfera CO_2 , SO_2 y NO_x contribuyen en menor o mayor grado al aumento del efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y el incremento de la lluvia ácida y gran parte de aquel aporte procede del quemado de los combustibles fósiles. Sin embargo entre estos últimos el gas natural constituye una fuente de energía calorífica limpia, de reducido impacto ambiental (mínima emisión de los gases citados) y una alta eficiencia energética. La combinación del uso del gas natural con el de un método de ahorro energético óptimo tal como la cogeneración, conduce a un resultado muy satisfactorio en la doble vertiente de impacto ambiental y rentabilidad. Sin duda alguna esta forma de producción de energía se aproxima considerablemente en su aspecto ambiental a la correspondiente a las energías renovables.

Efecto invernadero

El vapor de agua contenido en la atmósfera es el principal responsable natural del efecto invernadero y permite la existencia de una temperatura media sobre la Tierra de 15°C que sustituye a los -18°C que existirían sin dicho efecto. A esto contribuye en menor escala el CO_2 , ocupando el segundo lugar en los tiempos actuales tanto en concentración como en efecto de calentamiento, como consecuencia del aporte del mismo durante la Era industrial y que, al ritmo de incremento actual, es probable que para el año 2020

se duplique la cantidad del existente en la atmósfera en la época preindustrial. Esta situación conduciría a un aumento de la temperatura media de la Tierra entre $1,5^\circ\text{C}$ y $4,5^\circ\text{C}$, con la consiguiente subida del nivel del mar de 20 a 140 ó 150 centímetros. (Conferencias de Villach, 1985 y Toronto, 1988).

Pese a la gravedad del caso y a la manifiesta necesidad de tomar medidas a escala mundial, se ha hecho muy poco durante años para disminuir las emisiones de CO_2 y ha sido en la «Cumbre de la Tierra» de Río de Janeiro (1992) donde se ha firmado un convenio mediante el cual se pretenden estabilizar hasta el año 2000 las emisiones de aquél, al nivel del año 1990.

Aunque las Directivas de la CEE no fijaban límites sobre la emisión de CO_2 y pese que según datos obtenidos por la misma, España es la segunda nación menos contaminante de las doce que la forman, el PEN español se fijó como objetivo que las emisiones de CO_2 procedente del uso de combustibles para fines energéticos durante el período 1990-2000, no superen el 25 % del producido hasta el principio de ese período.

En la actualidad existe una tasa de emisión de CO_2 a la atmósfera que se incluyó en el quinto programa de acción de la Unión Europea publicado en marzo de 1992.

El metano (CH_4) es otro gas traza que contribuye al efecto invernadero y que durante la Era industrial ha aumentado su concentración 2,4 veces con una tasa de crecimiento 4 veces superior a la del CO_2 . El aporte del mismo debe proceder de la descomposición de residuos orgánicos, de la minería del carbón y quizás de pérdidas atribuidas a las de-

fectuosas condiciones de mantenimiento de los gasoductos rusos.

Destrucción del ozono atmosférico

En la estratosfera, la destrucción del ozono es acelerada por los radicales activos que pueden actuar de catalizadores y que están presentes en las especies HO_x , NO_x , Cl_x y Br_x .

La destrucción de la capa de ozono, según conclusiones de las Conferencias de Villach (1985) y Toronto (1988), tendrá como consecuencia un aumento del cáncer de piel, afecciones oculares y otros problemas graves.

A nivel mundial, tampoco se han tomado medidas para evitar aquellas posibles funestas consecuencias. La CEE, en este caso, sí estableció su Directiva 88/609 que trasladada a la legislación española por el Real Decreto 646/1991, fija unos objetivos de emisión de NO_x para España de 277 toneladas/año para el año 2000, los cuales serán cumplidos sobradamente con las medidas tomadas en la elaboración del PEN, que fija un límite de 263 toneladas/año para aquella fecha.

La lluvia ácida

La lluvia ácida contiene esencialmente compuestos de SO_2 procedente de las combustiones de las centrales térmicas, tanto de carbón como de fuel oil. En menor cuantía contiene también compuestos de NO_x del mismo origen anterior, así como de combustiones de las gasolinas utilizadas esencialmente en las ciudades.

El depósito de la lluvia ácida sobre la tierra ocasiona problemas graves de contaminación que afecta a la vida animal y vegetal, atacando al aparato respiratorio de los mamíferos, produciendo la muerte de huevos y larvas de peces y anfibios, destruyendo bosques, etc...

Este fenómeno de la lluvia ácida tiene un inconveniente adicional, tal cual es el transporte de los contaminantes mediante la acción del viento, con lo que la precipitación y consiguiente contaminación se verifican en regiones distintas, aunque próximas, de donde se han realizado las emisiones, provocando reacciones de inconformismo en los países afectados. Tal vez sea ésta la razón de que se hayan buscado fórmulas para reducir este ti-

po de contaminación, suscribiéndose numerosos acuerdos internacionales con ese objetivo.

Otra razón a considerar consiste en que, en este caso, el origen del problema está en los países ricos con medios tecnológicos suficientes y, por tanto, pueden ejercer un mayor control sobre las emisiones del SO_2 y NO_x , mientras que en el caso de contaminación atmosférica de CO_2 son los países pobres importantes contribuyentes y poco pueden hacer por evitarlo. Así, por ejemplo, la tala de bosques necesaria para su subsistencia incrementa la cantidad de CO_2 en la atmósfera y, por tanto, el efecto invernadero. Evitar este hecho requeriría una fuerte ayuda económica de los países ricos, para repoblar los árboles talados.

La CEE en la misma Directiva ya citada, 88/609, y trasladada a la legislación española mediante aquel Real Decreto 646/1991, fija unos límites de emisiones de SO_2 para España de 1.730 toneladas/año para el año 2000. El PEN, por su parte, disminuye esa cantidad hasta un límite de 1.330 toneladas/año para aquella fecha.

Resumen

Como resumen de lo anterior podemos decir que el incremento de emisiones de los tres principales gases traza que existen en la atmósfera CO_2 , SO_2 y NO_x que son causa del aumento del efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono y lluvia ácida, tiene su origen en la combustión del carbón y de los derivados del petróleo. En ésta también se desprenden partículas sólidas que contribuyen al efecto invernadero en pequeña escala.

Sin embargo entre los combustibles fósiles el gas natural constituye una fuente de energía calorífica limpia, de mínimo impacto ambiental (mínima emisión de los gases citados) y una alta eficacia energética que como consecuencia hacen deseables su utilización.

Gas natural

El gas natural se extrae de los yacimientos situados en el subsuelo y donde se formó a partir de la materia orgánica depositada en su día junto con los sedimentos y como consecuencia de su degradación por efecto de la temperatura. Es un producto incoloro e

inodoro y más ligero que el aire. Según su circunstancia de formación puede estar constituido desde metano casi en su totalidad, hasta constituyendo una mezcla de hidrocarburos ligeros, más del 70 % de metano y el resto etano, propano y butano. Puede contener o no anhídrido carbónico, hidrógeno y ácido sulfídrico. Si contiene este último se realiza su eliminación dado su carácter tóxico y corrosivo.

Actualmente se forma metano en muchos de los residuos orgánicos al verificarse su proceso de descomposición, con lo que el gas pasa a la atmósfera constituyendo una de las causas del temido incremento del efecto invernadero.

El gas natural es muy abundante en la naturaleza, hecho que constituye una cualidad más para su utilización. Partiendo de los datos de reservas probadas y consumo mundiales correspondientes a 1993 y suponiendo ambos parámetros constantes, el agotamiento del mismo se verificaría en un tiempo superior a 69 años. Hay que añadir que con frecuencia se descubren nuevos yacimientos y que desde el año 1990 al 1993 han crecido a mayor ritmo las reservas mundiales probadas que el consumo de gas.

Además a plazo medio se verá incrementada su disponibilidad por el metano que hoy se desprende de los residuos orgánicos de los vertederos y que debido a su paso a la atmósfera habrá que controlar, utilizando las técnicas adecuadas para su aprovechamiento energético.

Por otra parte en el período superior a 69 años, previsto para el agotamiento del gas natural, se irán desarrollando energías alternativas inagotables y renovables y como consecuencia sustituirán su uso progresivamente, con lo que aquel período aumentará.

Sobre las excelencias del uso del gas natural no existen dudas y así por ejemplo lo apoya el político Al Gore actual vicepresidente de los EE.UU. que ya al principio de 1992, en su propuesta de un Plan Marshall mundial para luchar por la defensa del medio ambiente, en el capítulo sobre energía, indica como primer punto la conveniencia de que la tecnología de recuperación, transporte y combustión de gas natural reciba ayudas especiales para aumentar su efectividad como fuente de energía.

Asimismo el XV Congreso Mundial de la Energía, hizo notar la necesidad del uso de fuentes energéticas limpias que hagan compatibles creci-

miento económico y conservación del medio ambiente.

En la misma línea se manifestaba la CEE así como el PEN español que para 1991-2000 contempla un crecimiento del gas natural en la Balanza de Energía Primaria próximo al 6 %, con lo que pasaría del 6,5 % actual al 12,2 % en el año 2000.

El gas natural se utiliza en proporciones reducidas como materia prima en producción del amoníaco y en otras aplicaciones petroquímicas. En la actualidad su utilización como combustible corresponde mayoritariamente a la industria, seguido del uso doméstico, la cogeneración y también las centrales térmicas si bien en cantidad casi despreciable. Para el año 2000 la cantidad de combustible aplicado a la industria y a las centrales térmicas deberán estar próximos, seguidos de la cogeneración y el uso doméstico. Aunque todos crecerán, el ritmo mayor corresponderá a centrales térmicas y cogeneración.

Centrales de gas en España

Las centrales termo-eléctricas en España están instaladas para el uso del carbón y de fuel-oil, utilizándose esporádicamente el gas natural en las centrales mixtas. Y aunque la producción de electricidad mediante el gas se ha incrementado desde 1970 a 1991, en esta fecha la cantidad utilizada de éste era ligeramente superior al 1 % de la generación total de electricidad en España.

Pero en las previsiones al respecto del PEN para el año 2000 cambiará muy significativamente el panorama, conectándose a la red eléctrica para esa fecha 1.835 MW en centrales termo-eléctricas de gas y 300 MW en turbinas de gas. En esas instalaciones se producirán 22.600 millones de KWh para el año 2000, cantidad que supone el 11,3 % de la generación total de electricidad prevista para ese año.

La cogeneración

La cogeneración es una tecnología que permite obtener energía eléctrica y energía térmica simultáneamente aprovechando ésta para producción de vapor de agua generalmente, bien para usar como calefacción, bien para utilizar en otros procesos industriales e incluso para producir más energía eléctrica.

La ventaja fundamental de una unidad de cogeneración respecto a una central térmica convencional, es que en la primera se aprovecha la energía térmica mientras que en la segunda se disipa al no poderse transportar.

El autoprodutor tiene la ventaja anterior y otra más que consiste en que ahorra las pérdidas de energía eléctrica que se producirían en el transporte si recibiera el equivalente a ambas (eléctrica y térmica), para satisfacer sus necesidades. Se consigue pues un considerable ahorro energético o lo que es lo mismo, se evita enviar a la atmósfera la cantidad de contaminantes correspondientes al ahorro energético conseguido. Esta es la conclusión si se utilizara carbón o fuel-oil para la cogeneración.

Pero si es gas natural el combustible utilizado en la cogeneración, entonces habría que descontar a efectos contaminantes los correspondientes a la energía producida por el autoprodutor además de los correspondientes a la energía ahorrada.

Las excelencias de esta tecnología han arrastrado a gran número de impulsores que ya lo eran en cuanto al uso del gas natural. Así el ya citado político Al Gore, en su Plan Marshall Mundial se manifiesta como un ardiente entusiasta.

Otro tanto cabe decir del político alemán Hermann Scheer, presidente de la European Solar Energy Association que en su obra Estrategia Solar (1993) también se define partidario de la cogeneración además de por el uso del gas natural (poco contaminante) y del ahorro energético, aspectos comunes a todos los impulsores, porque la proliferación de autoprodutores de esta tecnología puede facilitar el camino en un futuro a su esperanza de desarrollo de la energía solar.

Las empresas eléctricas se oponen a la existencia de demasiados autoprodutores de energía, porque ello va en contra de sus intereses económicos al haber realizado fuertes inversiones en las instalaciones gigantescas de sus centrales. Incluso el político citado, llega a proponer que a nivel mundial los Gobiernos impidan la creación de nuevas centrales, que exigirían enormes amortizaciones.

En España había a finales de 1990 más de un centenar de instalaciones de cogeneración que produjeron 9.708 millones de KWh o que representó alrededor del 3,3 % de la producción ne-

ta de electricidad correspondiente a aquel año, con un 32 % de instalaciones de gas natural.

El PEN prevé que en el año 2000 haya en servicio alrededor de 2.200 MW, en instalaciones de cogeneración que suministrarán en torno al 7 % de la generación neta peninsular de electricidad. Gran parte de estas instalaciones se harán mediante acuerdos entre empresas eléctricas y autoprodutores.

Hasta 1994 la potencia total de cogeneración instalada en España corresponde a 1.847 MW. Según el IDAE esta potencia produce 7.352,2 GWh/año de electricidad.

El análisis de este resultado conduce a constatar que el aumento de instalaciones previsto en el PEN para el año 2000, con una potencia de 2.200 MW se cumplirá holgadamente, puesto que en el período 1990-1994 se ha producido el paso de 959 MW a 1.847 MW, y así el IDAE tiene previsto que a final de 1995 la potencia instalada en España sea ya de 2.250 MW, aunque la promulgación del RD 3.366/94 puede crear un punto de inflexión en ese crecimiento, según la Asociación de Cogeneradores, al reducir los beneficios que la aplicación del marco legal anterior producía.

REPSOL: Ejemplo de cogeneración

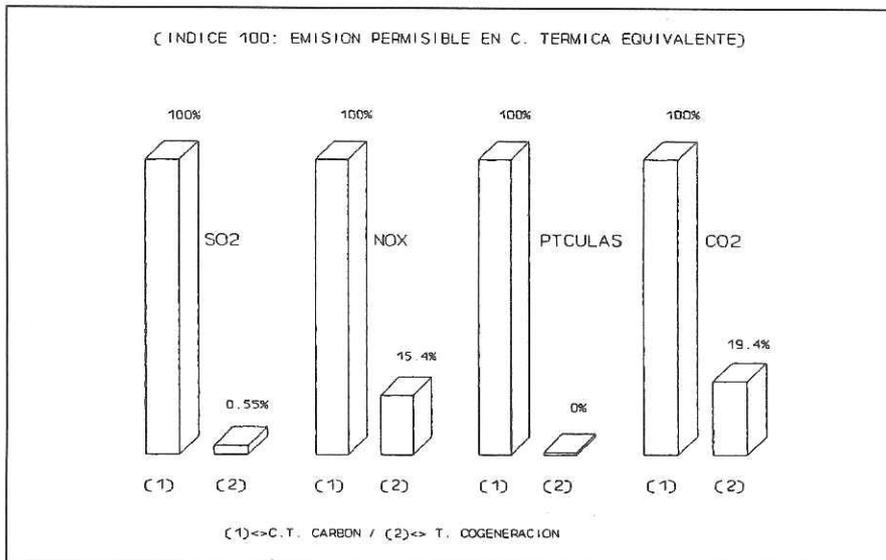
REPSOL ha realizado la primera fase del Plan de Cogeneración y tiene actualmente sus cinco refinерías en explotación total. Tienen una cogeneración total de 220 MW, con una energía generada de 1.785 GWh/año, de la cual alrededor del 70 % es autoconsumida y el resto es vertida a la red eléctrica nacional. La energía primaria consumida es esencialmente gas de refinерía de características similares al gas natural, o en algún caso combustibles líquidos pesados de muy bajo contenido en azufre, de rendimientos energéticos prácticamente equivalentes.

Los objetivos del Plan de Cogeneración REPSOL-INH son los siguientes:

I. A nivel del grupo

1. Impacto significativo en la reducción de costes de energía eléctrica para mejorar su competitividad en los mercados.

2. Mejorar la calidad de las emi-



Comparación de emisiones admisibles en centrales de carbón con las plantas de cogeneración de REPSOL.

siones gaseosas de las plantas industriales y reducir su impacto medioambiental.

3. Revalorizar el uso de combustibles limpios residuales.

4. Evitar discontinuidades y pérdidas de producción causadas por cortes de suministro no programados.

II. A nivel nacional

1. Cooperar en la reducción de consumos de energía primaria en la generación de energía eléctrica, que requiere el crecimiento de la demanda.

2. Mejora medioambiental derivada de dicha generación, al sustituir

combustibles sólidos o combustibles líquidos pesados por gas natural o de refinería.

3. Acercar el porcentaje de energía cogenerada a los índices europeos.

4. Fomento de un nuevo sistema energético muy normalizable, con impacto en la fabricación de bienes de equipo y en el «know-now» tecnológico y operativo.

A mediados de 1994 los resultados técnico-económicos conseguidos, correspondientes al ahorro energético son:

a) En generación: Ahorro del 54 % de energía primaria respecto a una generación eléctrica convencional equivalente a 266.000 tep/año.

b) En transporte: Reducción en pérdidas de transporte del 7 % al autoconsumir el 71 % de la energía generada «in situ».

El ahorro en inversión ha supuesto una reducción del 30-35 % en la inversión equivalente para una generación convencional en centrales de carbón.

El ahorro en costes de producción ha supuesto una disminución de un 30 % en el coste de la facturación eléctrica.

La mejora medioambiental se pone de manifiesto en la figura adjunta. ■

«LA TIENDA VERDE»

C/. MAUDES, N.º 38 - 28003 MADRID

TELS.: 533 07 91 - 533 64 54

FAX: 533 64 54

«LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA»

- MAPAS TOPOGRAFICOS: S. G. E. I. G. N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECTONICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS.
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS RURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

«VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA»

«SOLICITE CATALOGO»

RASGOS GEOLOGICOS DEL PIRINEO ARAGONES DESDE EL AIRE



Joaquín Lahoz Gimeno

Geólogo colegiado n.º 1.306. Jefe de Sección Restauración del Suelo. Diputación General de Aragón.



Andrés Pocovi Juan

Geólogo colegiado n.º 2.274. Profesor Titular de Geodinámica. Universidad de Zaragoza.

Los autores realizan una interpretación geológica de distintas vistas aéreas del Pirineo Aragonés a vista de pájaro.

The authors present a bird's eye view with different photographs of the Aragonese Pyrennes.

1.-Introducción- Justificación

El territorio de la Comunidad Autónoma de Aragón dispone de un Patrimonio Geológico de gran interés que debe ser estudiado, protegido y gestionado adecuadamente. En particular el Pirineo Aragonés reúne unas condiciones excepcionales de carácter didáctico, científico y de consideración como georrecurso cultural que su encanto supera el valor de regional y nacional, considerándolo como de valor supranacional.

Para admirar e interpretar los paisajes naturales del Prepirineo y Pirineo hemos seleccionado estas imágenes aéreas, que tomamos durante un vuelo que en el mes de agosto de 1994 realizamos en una actuación de prevención y vigilancia de incendios forestales.

No es frecuente que se realicen vuelos con la justificación de poner de manifiesto el valor de los georrecursos de una región, así como su estudio y difusión, por lo que agradecemos a la Revista TIERRA Y TECNOLOGIA su deferencia en la publicación de esta serie de imágenes que van a poner evidente la singularidad, espectacularidad y el inigualable punto de observación de los procesos geológicos desarrollados en los Pirineos.

También queremos agradecer al AEROCLUB DE ZARAGOZA su amabilidad y destreza demostradas en la preparación en tierra y durante el vuelo que permitieron tomar las imágenes con este marcado carácter geológico.

1.1.-Marco Geológico

El Pirineo Aragonés comprende una porción importante del llamado

«Pirineo ístmico» y contiene algunos de los elementos estructurales más representativos de la cadena alpina. Las características fisiográficas, especialmente en lo que concierne a relieve y red hidrográfica, permiten una excelente observación de los rasgos geológicos en tres dimensiones desde el suelo y excepcional desde el aire, como se verá en las páginas que siguen.

A modo de marco general de los puntos de observación que se van a comentar, recordaremos algunos de los rasgos característicos de la cadena.

El dominio pirenaico se extiende por la franja meridional de Francia hasta la Provenza, donde se interrumpe contra los Alpes occidentales y por el margen continental del Norte de la Península hasta bien adentro del Atlántico (anomalía 13), prolongando las estructuras sumergidas en el golfo de Vizcaya. Todo ello resulta de la compleja historia geodinámica del Tethys occidental sometido a los movimientos de las placas eurasiática y africana, involucrando a la microplaca ibérica entre ellas.

Desde los inicios del Ciclo Alpino (Stephaniense-Pérmico) hasta el Cretácico superior el dominio pirenaico estuvo sometido a un régimen predominantemente distensivo, aunque también tuvo gran importancia el régimen transtensivo que dio lugar a la rotación de la microplaca ibérica en sentido levógiro, acentuando la abertura del golfo de Vizcaya y poniendo fin a la etapa distensiva en el «dominio ístmico».

La inversión tectónica iniciada en el Cretácico superior inició el desarrollo de estructuras compresivas para dar lugar al cierre de las cuencas sedimentarias y terminar con la colisión de los bloques continentales de la microplaca ibérica y la eurasiática provocando in-



tensa deformación en los bordes de las mismas, especialmente en el de la primera, donde se origina un apilamiento de láminas de corteza superior (apilamiento antiformal de la zona axial) y subducción de la corteza inferior ibérica bajo el bloque eurasiático (Muñoz et al., 1992; Guimerà, Ed., 1992). La magnitud del acortamiento perpendicular a la cadena determinado por la etapa compresiva, en el sector central, se ha estimado en casi 150 Km en un corte equilibrado basado en el perfil de sísmica de reflexión profunda ECORS (Muñoz, 1992; ECORS team, 1993).

Grandes unidades de la cadena pirenaica:

Falla nortepirenaica.—El contacto entre la microplaca ibérica y la eurasiática antes mencionado se identifica con la «falla nortepirenaica» que constituye el borde Norte de los grandes afloramientos de zócalo de la «zona axial». Sobre la traza de esta falla se identifica una franja afectada por un

metamorfismo de alta temperatura y baja presión originado por el adelgazamiento de la corteza al final de la etapa distensiva. También se alinean con la falla pequeños afloramientos de rocas originadas en la corteza inferior y en el manto superior (granulitas, lherzolitas), emplazadas tras una historia tectónica complicada.

Zona nortepirenaica.—Entre la falla nortepirenaica y el antepaís septentrional (Cuenca de Aquitania, etc.), existe una banda afectada por pliegues y cabalgamientos predominantemente vergentes al Norte, que afectan a una cobertura predominantemente mesozoica e involucran algunos bloques de zócalo que constituyen los «macizos nortepirenaicos». El límite Norte de esta franja lo forma el «cabalgamiento nortepirenaico», y en éste y otros accidentes de la zona se identifican caracteres heredados de las fallas extensionales que afectaban a las cuencas extensivas.

Zona surpirenaica.—El Pirineo meridional, a partir de la falla nortepirenaica, comprende un gran alineamiento

de unidades de zócalo (materiales prealpinos, porción de corteza continental estructurada en el ciclo hercínico) apiladas por los cabalgamientos alpinos, que forman la «zona axial», y una amplia zona de materiales del ciclo alpino, situada entre la zona axial y el antepaís meridional (Depresión del Ebro), con pliegues y cabalgamientos de vergencia dominante al Sur, también denominada «Prepirineo». Prescindiendo de las diferencias que presenta en sentido longitudinal, en el prepirineo se distinguen grandes alineaciones de relieves (y estructuras) paralelos a la cadenas: Las «sierras interiores» se adosan a la zona axial y en la mitad oriental incluyen afloramientos de materiales hercínicos que, a diferencia de los nortepirenaicos, aquí representan la parte frontal de los pliegues recumbentes y cabalgamientos que afectan a la zona axial («têtes plongeantes»), separadas de sus raíces por la erosión. Las «sierras exteriores» forman la alineación más meridional, en contacto con la Depresión del Ebro, representan la línea

en que emergen los cabalgamientos inferiores de la estructura meridional. Entre las dos alineaciones mencionadas se sitúa una franja de relieve más suave y estructura de sinclinorio que forma la «depresión media» (Cuencas de Tremp y de Jaca). En este edificio estructural se distingue el conjunto denominado «láminas superiores» formado por cabalgamientos de cobertera que empiezan a producirse al iniciarse la inversión tectónica y someter las cuencas sedimentarias a acortamiento, y las «láminas inferiores», que involucran materiales del zócalo, además de grandes extensiones de cobertera (en parte ya estructurada por las láminas superiores), desarrolladas al colisionar los bloques continentales, fundamentalmente en el Eoceno superior.

2.-Estructura del Pirineo aragonés

2.1.-Introducción.-Divisiones del Pirineo Meridional

Si centramos nuestra atención en el Pirineo meridional y atendemos a las variaciones que se aprecian en sentido longitudinal a la cadena, el mapa geológico permite considerar varios segmentos cuyos límites se localizan aproximadamente en los cursos de los ríos Segre y Cinca y en una línea que pasa por Estella y Pamplona. Al Este del Río Segre (Pirineo Oriental), las unidades de cobertera forman una franja relativamente estrecha bordeando la zona axial. Entre el Segre y el Cinca (Sector Central), la franja de cobertera es muy amplia y está formada por grandes láminas de cobertera con gran desarrollo de las series mesozoicas, despegadas a nivel del Triásico superior, que cabalgan ampliamente el borde de la Depresión del Ebro (rampas frontales) y también los sectores colindantes (rampas oblicuas del Segre y del Cinca). Entre el Cinca y la línea de Estella-Pamplona (Sector Navarro-Aragonés) tenemos una franja de cobertera plegada algo más estrecha que en el Sector Central y con predominio de materiales terciarios. En la mitad oriental de este sector (Pirineo Aragonés) están muy bien representadas las Sierras Exteriores (en el contacto con la Depresión del Ebro), las Sierras Interiores bordeando la Zona Axial y entre ellas la Depresión Media está formada por la Cuenca de Jaca. En la parte na-

varra, las Sierras Exteriores se reducen y la Axial se sumerge suavemente bajo la cobertera para no volver a aparecer más que en los Macizos Vascos. Al Oeste de la línea de Estella-Pamplona aparecen grandes cambios en relación a lo expresado. Las sierras exteriores resurgen en la alineación de la Sierra de Cantabria e inmediatamente al Norte aparece una serie mesozoica y terciaria de gran espesor (Cuenca Vasca) afectada por grandes estructuras vergentes al Norte (Pirineo vasco-cantábrico).

2.2.-Unas pinceladas de historia geológica

A lo largo del Triásico y también del Jurásico el dominio que ahora forma el Pirineo aragonés estaba integrado en el margen occidental del Tethys, dejando aquí los mismos depósitos continentales y de plataforma más o menos identificables en el dominio del NE de la Península. En el Cretácico el «rifting» pirenaico alteró considerablemente esta situación: el borde ibérico se erosionó, llegando a desaparecer completamente los sedimentos triásicos y jurásicos en la zona Norte y buena parte de ellos en la parte meridional. En el Cretácico superior los rifts se llenan de sedimentos y la transgresión marina alcanza todo el dominio pirenaico. La inversión tectónica al final del Cretácico inicia la aparición de estructuras compresivas. La carga tectónica de estructuras situadas sobre el borde norte provoca su hundimiento al flexionarse suavemente la placa ibérica en el Eoceno. De este modo, en las actuales Sierras Exteriores se mantenía una plataforma carbonática (Fm. Guara), mientras en las actuales Sierras Interiores existía una cuenca turbidítica (cuenca turbidítica de Jaca). La estructuración de las láminas superiores (sistema de Larra, etc.) pone fin a esta situación. Emerge parte del edificio y la sedimentación molásica (cuenca de antepaís) sustituye a los depósitos marinos. Al final del Eoceno la colisión produce el apilamiento de elementos de zócalo levantando la zona axial y las láminas superiores que antes se habían estructurado por encima de este zócalo y grandes extensiones de cobertera que aún no habían sido afectadas por la tectónica compresiva. Toda la cuenca molásica de Jaca forma parte de una de estas láminas (Manto de Gavarnie) cuyo frente se sitúa en las Si-

erras Exteriores. Este proceso se prolonga durante el Oligoceno y quizá principios del Mioceno, dejando así concluidas las estructuras mayores. La erosión y los ajustes isostáticos acabaron de configurar el actual aspecto del paisaje.

2.3.-Localización de las fotos seleccionadas

Las fotografías seleccionadas expresan con claridad algunos de los rasgos mayores citados:

2.3.1.-El contacto con la Depresión del Ebro:

La parte frontal del Pirineo Aragonés se sitúa en las Sierras Exteriores. El frente del manto de Gavarnie cabalga el terciario del borde Norte de la Depresión del Ebro. En buena parte del frente, los niveles altos del terciario de la Depresión cubren el cabalgamiento frontal que no es observable. En la parte Oeste, sector Sierra de Salinas, por el contrario, aflora excepcionalmente bien y permite observar a su vez la existencia de un gran pliegue de despegue que involucra al plano de cabalgamiento (**foto 1**).

2.3.2.-Sierras Exteriores:

Las Sierras Exteriores representan la estrecha banda de estructura compleja en la que emerge el manto de Gavarnie transportando a sus espaldas la Cuenca molásica de Jaca (**foto 2**).

2.3.3.-Sinclinorio del Guarga (Cuenca molásica de Jaca):

La cuenca molásica de Jaca tiene la estructura de un gran sinclinorio. En los niveles altos del relleno las estructuras están poco apretadas sugiriendo su carácter sintectónico (sinclinales supraternuados) que se aprecia en la **foto 3**.

2.3.4.-La Canal de Berdún y Cuenca turbidítica de Jaca:

Entre las Sierras Interiores y la Cuenca molásica se extiende una depresión morfológica desarrollada por erosión diferencial sobre los depósitos

de la cuenca turbidítica de Jaca y arcillas marinas del Eoceno (foto 4).

2.3.5.-Sierras Interiores:

La estructura de láminas imbricadas de las Sierras Interiores y su «verticalización» por el posterior emplazamiento de los bloques de zócalo de las láminas inferiores es espectacularmente apreciable (fotos 5, 6, 7 y 8).

2.3.6.-Zona Axial:

El elevado relieve de los bloques de zócalo, que implican granitos y edificios volcánicos complejos aparecen en las fotos 9 y 9'. A su vez la discordancia del Cretácico superior sobre materiales hercínicos o tardihercínicos se verá en las fotos 8, 10 y 12.

2.3.7.-El límite con el Sector Central:

La unidad Cotiella-Montsec forma parte del Sector Central y puede verse el cabalgamiento de Peña Montañesa, en las estribaciones de Cotiella, sobre la Cuenca de Ainsa (foto 18).

3.-Descripción de las fotos

Foto 1. Sierra de Salinas

Paisaje

Imagen tomada sobrevolando el Río Gállego en las inmediaciones de Murillo de Gállego y Riglos, mirando hacia el W. Ofrece una panorámica muy representativa del contacto de las estructuras pirenaicas más meridionales y su contacto con la Depresión del Ebro.

A la derecha (N) se observan los «hog backs» de la Sierra de Salinas y a la izquierda (S) el perfil de las facetas triangulares de Puigmaría, San Calién, Punta de Plandemicas y San Miguel de Liso. Al fondo se observan los relieves tabulares de la Sierra de Luesia y Montes de Biel.

Los barrancos que cortan transversalmente la estructura nacen en la Sierra de Salinas y sus aguas hacia el Sur confluyen en el Bco. de Artaso que a su vez desemboca en el Río Gállego en las inmediaciones de Morán. En primer término tenemos el Bco. de Rea-



Foto 1. Sierra de Salinas.

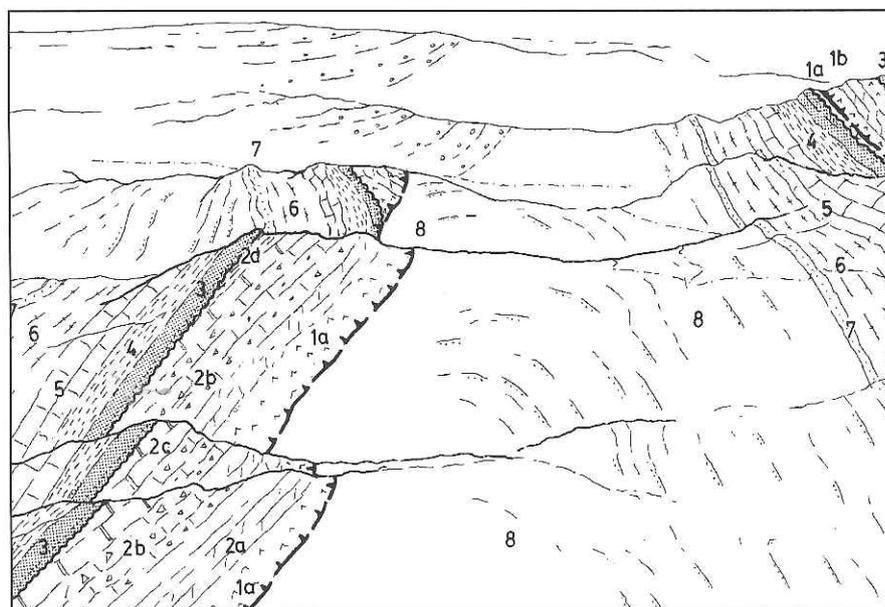


Foto 1. Sierra de Salinas. Diagrama estructural.

cuba y a continuación el de los Bergales. Más al fondo, los Barrancos de Cervera y San Andrés confluyen en el Arba de Biel también afluente del Gállego.

Materiales

La Sierra de Salinas está formada por una doble serie mesozoico-terciaria dispuesta como si se tratase de un anticlinal apretado, vergente al Sur y erosionado hasta su núcleo de Trías superior.

Este Trías superior, en facies Keuper (1a), está materializado por las arcillas con yeso de la Fm. Pon de Suert,

y en algunos afloramientos contienen también dolomías grises tableadas de facies Muschelkalk (1b).

Las capas calcáreas que se destacan en el relieve (seguimos a la derecha de la imagen) corresponde a las Fms. Adraent-Bona (Cretácico superior) (3), Guara (5) y Belsué-Atarés (Eoceno) (7). Entre ellas se pueden apreciar los tramos arcillosos correspondientes a las Fms. Tremp (Facies Garum, tránsito Cretácico-Terciario) (4) y Argüís (Eoceno) (6).

La extensa zona central de la foto está formado por la potente serie continental de areniscas rojas de la Fm. Campodarbe (8).

En las crestas calcáreas de la izquierda (S) se repite la serie mesozoico-terciaria, presentando aquí la peculiaridad de conservar, debajo de las calizas arenosas del Cretácico superior discordante (Fms. Adraent-Bona) (3), un resto de serie del Lías que en la práctica totalidad del prepirineo aragonés se erosionó antes de la transgresión cretácica. Sobre la foto es bien visible la discordancia angular de la base de las citadas formaciones del Cretácico superior, y también se aprecia claramente la serie del Lías interrumpida por la superficie de discordancia. En la serie del Lías se identifican los tramos equivalentes a las Fms. Dolomías de Imón (2a), Carniolas de Cortes de Tañña (2b), Calizas oolíticas de Cuevas Labradas (2c) y margas de Turmiel (2d) (Comas et al., 1988).



Foto 2. Embalse de Sta. María de la Peña.

Estructura

En la Sierra de Salinas se encuentra el frente meridional de la estructura surpirenaica alóctona. En el mapa la Sierra de Salinas tiene la apariencia de un anticlinal muy apretado y vergente al Sur. Esta apariencia es aproximadamente real en el extremo W de la estructura (no viene en la foto), pero en las inmediaciones del Río Gállego, donde se sitúa esta foto, la estructura se complica: Los afloramientos de la izquierda representan la continuidad del flanco N del «anticlinal» de la Sierra de Salinas que aquí cabalga sobre la potente formación Campodarbe. A su vez el cabalgamiento está plegado y el gran anticlinal resultante está erosionado, por lo que la parte frontal de la lámina cabalgante ha perdido continuidad para dar lugar a la llamada «klippe de San Felices». El bloque inferior del cabalgamiento aflora en el núcleo de este gran anticlinal. Al estar la serie en posición invertida, nos aparece formando el falso anticlinal del bloque inferior, bien visible en las capas de la Fm. Campodarbe de la amplia zona central de la imagen.

Al fondo y a la izquierda de la imagen se aprecian las voluminosas formaciones conglomeráticas de los montes de Biel y Sierra de Luesia que forman parte del abanico conglomerático de Luna (Nichols). Incluso puede apreciarse el carácter sintectónico de los depósitos conglomeráticos en relación con el levantamiento del gran anticlinal antes aludido.

La expresividad de esta imagen es extraordinaria y constituye una valiosa ayuda para comprender la complicada estructura (Millán et al., 1995) determinante del cautivador embrujo del desfiladero del Río Gállego, entre Murillo de Gállego y el Embalse de la Peña.

Foto 2. Embalse de Santa M.^a de la Peña

Paisaje

Imagen tomada sobrevolando el flanco N de la Sierra de Salinas y mirando hacia el E. Ofrece una vista general del Embalse de Santa M.^a de la Peña, sobre el llano de Yeste. El Río Gállego es el cauce meandriforme que viene del fondo de la foto, en la zona central. La presa se sitúa hacia el centro del borde rectilíneo de la derecha. Por la esquina inferior izquierda viene el Río Asabón a desembocar al Gállego (ahora en el embalse).

En primer plano se observan las mismas crestas de la Sierra de Salinas que se veían en el extremo derecho de la foto anterior. La misma cresta continúa hacia el fondo, en la orilla izquierda del Gállego, por el Cerro Triste. La parte izquierda de la foto (N) corresponde a la Sierra de Santa Isabel.

Materiales

El vaso del embalse se sitúa sobre las margas de Argüís, cuya naturaleza impermeable permite una excelente es-

tanqueidad. A su vez, las calizas de la Fm. Guara proporcionan anclaje a la presa (centro-derecha, junto al puente). La centralita hidroeléctrica de Carcavilla queda visible junto al borde derecho de la foto, en la orilla izquierda del Río Gállego. La conducción de agua desde la presa hasta los tubos de presión de la central es subterránea.

Obras de ingeniería a parte, se observa que sobre las margas de Argüís, fácilmente erosionables, el Río Gállego desarrolló un amplio cauce en el que las formaciones superficiales (glacis de Yeste, Triste, Sta. M.^a de la Peña) sostienen los campos de cultivo. La extensión de estos campos delimita perfectamente el afloramiento de las margas.

Por encima de las margas, al límite de los campos se destacan unas capas de areniscas y calcarenitas de color gris claro-verdoso de la Fm. Belsué-Atarés, tránsito a la potente formación molásica de Campodarbe. Esta última forma la extensa parte oscura de la izquierda de la foto.

Estructura

Nos situamos en el flanco S del «sinclinorio del Guarga», estructura que aproximadamente coincide con la extensión de la Cuenca molásica de Jaca. Este flanco S está determinado por la emergencia del cabalgamiento frontal de la estructura surpirenaica (manto de Gavarnie) sobre el margen de la Depresión del Ebro, en las Sierras Exteriores (a la derecha de la imagen).



Foto 3. Conglomerados de San Juan de la Peña. Ermita de S. Salvador.

Foto 3. Conglomerados de San Juan de la Peña. Ermita de S. Salvador

Paisaje

Foto tomada desde las inmediaciones de Bailo mirando hacia el E. En primer término, el escape de conglomerados masivos de San Juan de la Peña. Al fondo, la característica silueta de la Peña Oroel. A la izquierda, por detrás de los conglomerados de San Juan de la Peña, el valle del Río Aragón.

Materiales

Los conglomerados de San Juan de la Peña y de la Peña Oroel (Fm. Fernués) coronan la serie de la Cuenca molásica de Jaca, especialmente en su margen N. Se atribuyen al Oligoceno alto.

Estructura

Los conglomerados de San Juan de la Peña y Peña Oroel representan sendos núcleos de sinclinales colgados de la parte N del sinclinorio del Guarga. La presencia de estos conglomerados masivos por encima de las areniscas y arcillas de la Fm. Campodarbe responde al emplazamiento de las láminas de cabalgamiento del sector Serablo (Cabalgamiento de Jaca, ...). Después de estructurados los sistemas de cabalgamientos de las Sierras interiores y anticipándose (tal vez en parte simultáneamente) al despegue hacia el

S del conjunto de la cuenca molásica de Jaca. Estos sinclinales, observados en los términos superiores de la serie, son bastante laxos, mientras los anticlinales situados entre ellos son muy apretados. Probablemente los pliegues se desarrollaban simultáneamente al depósito de los tramos superiores de la serie molásica.

Foto 4. La canal de Berdún

Paisaje

Imagen tomada desde las inmediaciones de Sta. Cilia de Jaca mirando



Foto 4. La canal de Berdún.

hacia el W. Se observa la confluencia del Río Aragón Subordán en el Aragón. El primero discurre por la parte inferior de la foto, de derecha a izquierda hasta unirse al segundo en las inmediaciones de las Casas del Puente de la Reina. Este segundo dirige sus aguas hacia el W (centro de la imagen), donde se retendrán en el embalse de Yesa.

La Canal de Berdún es la depresión morfológica situada entre los relieves del Sinclinorio del Guarga y las Sierras Interiores. Esta franja de relieves suaves y clima relativamente benigno facilitó el asentamiento de núcleos poblacionales y las comunicaciones, dando cauce a las calzadas romanas y al Camino de Santiago (ruta del Somport). Las extensas formaciones superficiales (glacis y terrazas) relacionadas con el cauce del Río Aragón están ocupadas por los fértiles campos de la Jacetania, origen del reino de Aragón a partir del s. IX.

Materiales

El Río Aragón ha excavado su cauce sobre las margas de Jaca-Pamplona, que tiene continuidad lateral con las de Argüís por debajo del sinclinorio del Guarga. Los llanos de la mayor parte de la imagen corresponden a los glacis y terrazas antes mencionados, que se instalan sobre las margas.

El escarpe de la parte izquierda (S) de la foto está determinado por los ma-



Foto 5. Peña Agüerri. Bisaurin.

teriales de tránsito de las margas de Jaca-Pamplona a las capas continentales de la Fm. Campodarbe. Se trata de las areniscas grises de la Fm. Yeste-Arrés (equivalente a la Fm. Belsúe Atarés citada en la foto n.º 2). Encima de éstas las areniscas y arcillas rojas de la Fm. Campodarbe buzando fuertemente hacia el S, forman el flanco N del sinclinal o del Guarga.

Foto 5. Peña Agüerri. Bisaurin

Paisaje

Imagen tomada en la vertical del Barranco de Escarrón, próximo a la Punta de Cuta. Se observa a la izquierda Peña de Agüerri y su continuación hacia el Puerto de Taxeras, separado

por el barranco de Agüerri y en el centro de la foto aparece el Pico Basaurin de 2.670 metros. En segundo término está la silueta de la Sierra de Bernera. Al fondo destaca la forma inconfundible del Pico Midi d'Ossau. El Collado del Puntal de Foratón se dibuja en la parte derecha de la fotografía en continuidad con la ladera del Bisaurin, que oculta casi completamente la cabecera del Río Osia y el llano de Litara.

Materiales

En primer término afloran las margas y areniscas basales en facies Turbidíticas del Eoceno, coincidiendo con los relieves bajos del Collado y Puntal Foratón y del Plandaniz. Es observable que la megasecuencia 2 ó

de la Magdalena, con brechas calcarenitas y margas.

Las crestas están formadas por las calizas con algas del Paleoceno Thanetiense, las capas que forman los pliegues de la ladera del Bisaurin corresponden a calizas arenosas, calizas con sílex y margas con megabrechas del Ilerdiense Eoceno inferior.

Al norte del Bisaurin, coincidiendo con la cresta de la Sierra de Bernera, se ven las capas subverticales de las calizas de Larra, Santoniense, Cretácico superior.

Las calizas con prealveolinas que forman la base de la serie transgresiva cretácica aparecen discordantes sobre el pérmico rojo de la Selva de Oza. Entre Sierra de Bernera y Bisaurin se sitúan las margas y calizas de Zuriza.

Estructura

En esta imagen se puede observar un corte representativo de las Sierras Exteriores. La Sierra de Bernera es la parte inferior de la serie de cobertera y permanece solidaria al substrato aquí formado por el pérmico (Saxothuringiense).

Las margas de Zuriza actúan con un nivel de despegue por lo que a partir de aquí la estructura de los niveles superiores se complica. La ladera del Bisaurin centro de la foto nos muestra esta complicación, con una serie de pliegues en cascada que afectan a las capas del Paleoceno y Eoceno inferior.

Fotos 6 y 7. Detalles de la Peña Forca



Fotos 6 y 7. Detalles de la Peña Forca.



Foto 8. Boca del Infierno. Selva de Oza. Peña Forca.

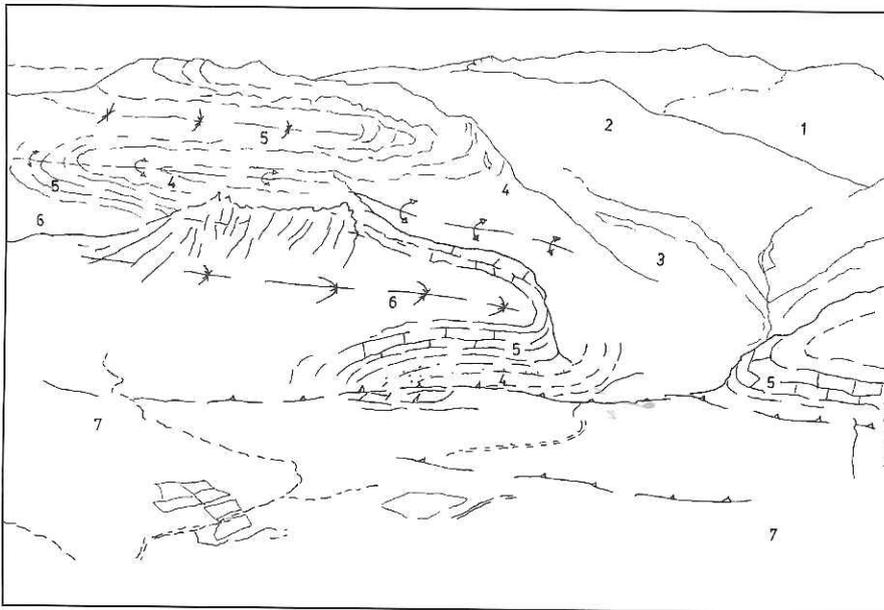


Foto 8. Boca del Infierno. Selva de Oza. Peña Forca. Diagrama estructural.

Foto 8. Boca del Infierno. Selva de Oza. Peña Forca

Paisaje

La vista está tomada desde las inmediaciones de Siresa, mirando hacia el N. El alto valle del Río Aragón Subordán atraviesa las Sierras Interiores formando un desfiladero profundo entre Peña Forca (izquierda) y Peña Agüerri (estribaciones visibles a la derecha). Este desfiladero es la Boca del Infierno. Al fondo se distingue la silueta de Petrechema (2.374 m) en la misma línea de unión de Francia y España.

Al N de la Boca del Infierno el Aragón Subordán tiene un tramo de dirección casi E-W (obsecuente) y en la curva recibe las aguas del Bco. de Lacherito (por detrás de Peña Forca). En la confluencia se forma la pequeña zona deprimida de la Selva de Oza, bellísimo rincón del Pirineo Aragonés.

Materiales

A la derecha de la imagen la zona boscosa oscura que se ve más al fondo corresponde a un gran afloramiento de materiales pérmicos (lutitas y areniscas rojas).

Inmediatamente al S de la zona oscura se distingue una pared calcárea. Está formada por las calizas con pralveolinas de la base de la transgresión del Cretácico superior, aquí de edad Cenomaniense.

El espectacular zig-zag que domina la imagen está formado por las calizas y dolomías del Paleoceno (calizas y dolomías de Salarons). Inmediatamente debajo (núcleos de anticlinares) aparecen las capas de color parduzco del Cretácico terminal (areniscas de Marboré). Entre estas últimas y las calizas del Cenomaniense se encuentran las margas y calizas de Zuriza (calqueschistes de Navarelle), que tienen un especial significado tectónico según se verá más adelante.

Fotos 9 y 9'. Macizo de Bernera. La Ruabe de Bernera. Los Costalones

Paisaje

Imagen tomada en la vertical del Puntal de Foratón. En el ángulo inferior izquierdo se ven los escarpes calcáreos de la ladera Sur de Bisaurin, las fajas de Fetas que culminan con el Pico Olibon de 2.482 metros. A la derecha está el Macizo de Bernera y entre ambos la cabecera del valle del Río Osia.

En segundo plano, la cresta oscura corresponde a la línea fronteriza con Francia, con el Puerto de Gabedaille, el pico del mismo nombre, y el Pico de Acué.

La cabecera del Río Aragón Subordán se sitúa entre Sierra Bernera y la Cresta de Gabeille.

Al fondo las siluetas de los picos Midi d'Ossau, Balaitus.

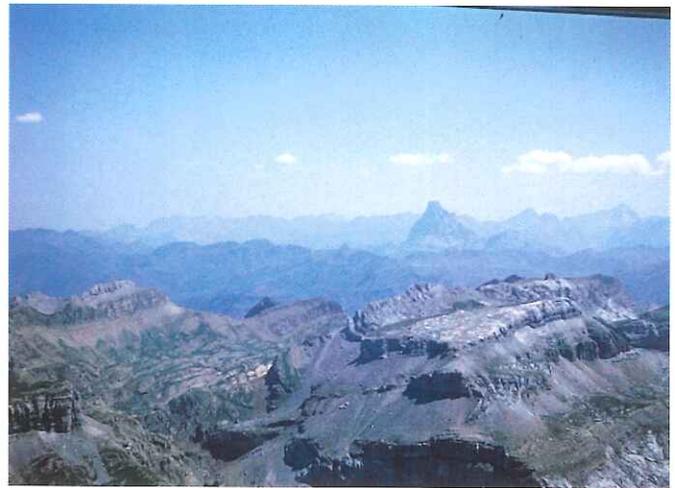
Materiales

En Sierra Bernera aparecen materiales con las calizas de Rudistas del Coniaciense Santoniense. Calizas de Larra.

Entre Sierra Bernera y los macizos de Bisaurin aparecen las margas de Zuriza, del Campaniense.

El Macizo de Bernera nos ofrece un corte en el que se repiten los tramos de la edad Mastrichtiense hasta las calizas con sílex del Eoceno inferior.

Los Costalones están formados por materiales calcáreos del Eoceno inferior.



Fotos 9 y 9'. Macizo de Bernera. La Ruabe de Bernera. Los Costalones.

En el Pico de Acué y Puerto de Gabedaille aflora el Pérmico, con brechas y conglomerados, serie de Baralet y lutitas y areniscas rojas, serie Marcantón.

El Pico del Midi d'Ossau forma parte de un complejo aparato volcánico constituido por materiales andesíticos de edad Stefaniense. Los relieves del Balaitus corresponden a uno de los batolitos de granitos tardihercínicos, granitos del complejo Balaitus Vignemale.

Estructura

Los grandes relieves del fondo de la margen forman parte de la zona axial mientras que los relieves del primer término representan el apila-

miento de mantos de las sierras interiores.

El Cretácico superior de Sierra Bernera permanece adosado al substrato (zócalo paleozoico más el tegumento permo-triásico) mientras que la serie situada estratégicamente por encima de las margas de Zuriza se despega formando un apilamiento de láminas de las sierras internas. En el centro de la imagen, pared Oeste del Macizo de Bernera, se observa claramente tres escalones calcáreos. Todos ellos están constituidos por calizas del Eoceno inferior, que se repiten en otros tantos cabalgamientos.

Es un área que también desde superficie ofrece un buen punto de observación de la estructura de las Sierras Interiores (zona de Agues del Puerto Litara).

Foto 10. Canfranc Estación Internacional

Paisaje

La foto está tomada en la vertical de Canfranc pueblo antiguo en dirección Norte.

El Río Aragón corta, en esta zona, profundamente las Sierras Inferiores, permitiendo la vía natural de acceso a Francia a través del Somport. Es el paso de la calzada romana, Camino de Santiago, vía férrea internacional; y donde se ha iniciado la construcción del nuevo túnel internacional.

En la parte izquierda se observa la arista de Peña Blanca y Gambó que culmina en el Borreguil de la Cuca.

A la derecha de la imagen, margen izquierda del Río Aragón, las paredes de Larrón (2.125 m).

En la zona central está la confluencia en la derecha de la Canal de Roya con el Río Aragón, al pie de La Raca de 2.284 metros. En lo profundo de la imagen se ve con claridad la explanada de la estación internacional de Canfranc. También la silueta del Midi d'Ossau.

Foto 11. Río Aurín. Valle de Acumuer

Paisaje

Imagen tomada sobre la ladera del Somola Baja, en dirección Norte. A la izquierda de la foto aparece la cresta de la Peña Somola Alta, Peña Nevera (2.704 m) y Collareta (2.742 m). El centro de la imagen corresponde al cauce del Río Aurín. El circo corresponde a la

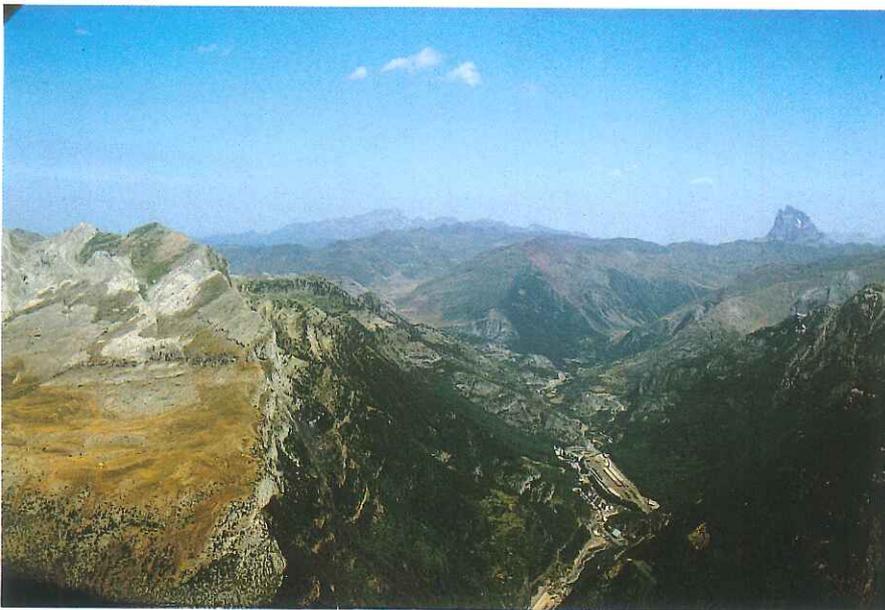


Foto 10. Canfranc Estación Internacional.



Foto 11. Río Aurin. Valle de Acumuer.

Ribera de los Canales. A la derecha de la imagen, Este geográfico se observa el pico puntiagudo de Peña Retona (2.781 m) al Este Puerto Rico (2.702 m).

Materiales

Los materiales de Somola Baja, Somola Alta, Peña Nevera y la parte alta de la Collareta, corresponde a las dolomías tableadas, calizas masivas. Areniscas calcáreas, del Paleozoico y a las calizas con sílex. Areniscas y margas del Eoceno Ilerdiense inferior. Los materiales del área central, Circo de la Ribera de los canales corresponde a las calizas arenosas y areniscas del Mastrichtiense del Cretácico superior. Los materiales de Peña Retona y Puerto Rico corresponde de nuevo a materiales del Paleoceno y Eoceno inferior.

Estructura

Principalmente en el área de Peña Somola Alta y Baja es observable la tectónica de cabalgamientos de las Sierras Interiores.

Foto 12. Macizo Granítico de Panticosa

Paisaje

La imagen está tomada en la vertical del Barranco del Río Caldarés entre Panticosa y el Balneario de Panticosa.

A la izquierda de la imagen aparece Peña Gabarda y las Argualas. Al frente, los Picos de Bachimaña. A la derecha los Picos del Macizo de Viguemale. En el centro y al fondo resaltan las edificaciones del Balneario de Panticosa.

Materiales

La orla del macizo granítico de Panticosa observable en la foto corresponde a materiales de calizas tableadas negras «Dalle», a pizarras y calizas versicolores del Devónico inferior y medio. Los materiales graníticos del Macizo de

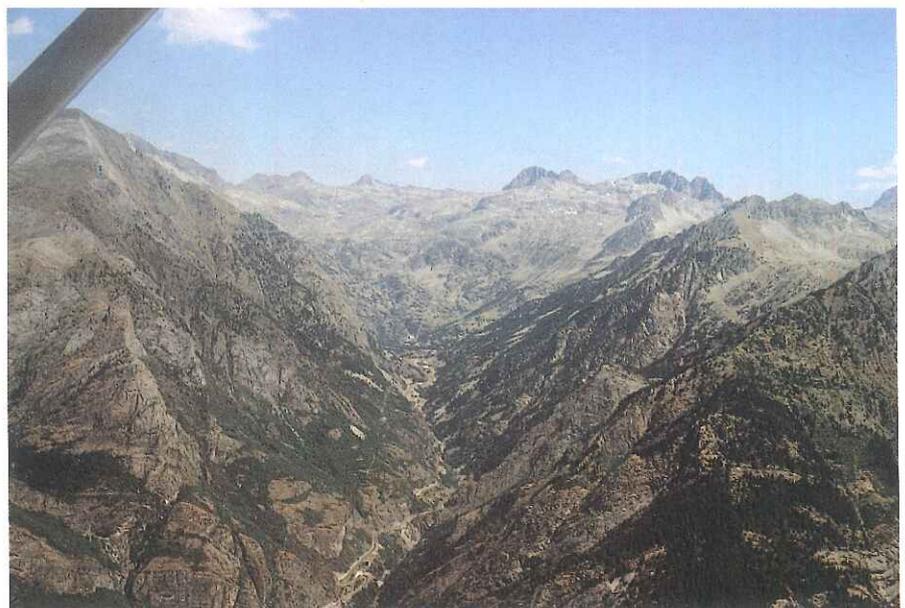


Foto 12. Macizo Granítico de Panticosa.

Panticosa, presentan una estructura zonada concéntrica de cuatro facies.

1. Granito Monzonítico muy leucocrático de grano medio.
2. Granodiorita clara de grano fino.
3. Granodiorita de grano medio en un cambio muy gradual con el anterior.
4. Tonalita (Grabodiorita cuarcifera).

Existen además numerosos diques asociados al cortejo granítico.

Estructura

La masa granítica está muy fracturada en una dirección Norte-Sur y Este-Oeste. Se observa la estructura en forma de domo desmenuzado en agujas y superficies erosionadas y aplanadas.

Foto 13. Sierra Tendeñera

Paisaje

La imagen está tomada en la vertical de la ermita de Santa Elena en el inicio del Valle de Tena, por donde discurre el Río Gállego.

Se observa toda la Sierra de Tendeñera (2.853 m) hasta la Peña de Otal de 2.705 metros.

Materiales

Los materiales corresponden a calizas grises claras y calizas arenosas ferruginosas, «Maciños» del Cretácico



Foto 13. Sierra Tendeñera.

superior desde el Cenomaniense hasta el Campaniense. Por encima geológicamente y en la parte derecha de la foto aparecen las calizas oscuras y areniscas margosas «Areniscas del Marboré».

Estructura

La Sierra de Tendeñera corresponde al frente de cabalgamiento de las Sierras Interiores (cabalgamiento de Otal-Sandanuelo).

Foto 14. Torla. Ordesa

Paisaje

La imagen fue tomada en la vertical del cruce de la carretera de Broto-Torla. A la izquierda de la imagen aparece Peña Pillera, Sierra Lomeras de 1.942 metros, Sierra del Turbón y Pico de Ordiso de 2.319 metros. En el centro de la foto, el barranco de Río Ara, Garganta de los Navarros. El pueblo de Torla se observa claramente en el estrecho formado por la Sierra del Balcón, en la margen izquierda del Río Ara y las estribaciones de Mondiciero (2.296 m) en su margen derecha. Al frente de la foto Ordesa, con las Murallas de la Gatera, Mondarruego (2.540 m), Pico de Salarons (2.304 m). El valle de Ordesa se inicia detrás de la Sierra de las Cutas.

Materiales

Los materiales que forman Peña Pillera, Sierra Lomeras y el fondo del valle del Río Ara, corresponde a la Serie Turbidítica, tipo Sierra Bolave-Mondiciero, constituida por paquetes de turbiditas areniscosas con bancos gruesos y tramos margosos y con turbiditas delgadas.

En la Sierra de las Cutas, en las Murallas de la Gatera, Mondarruego y Pico Salarons aparecen calizas masivas y areniscas del Paleoceno y las dolomías tableadas también paleocenas, es-

tas formaciones de color blanco destacan en las paredes altas de Ordesa.

Estructura

El Terciario calizo de las paredes de Ordesa pertenecen a la unidad de Monte Perdido. En Torla las calizas del Paleoceno forman un pliegue anticlinal vergente al Sur. (Pliegue de Torla, (Doloni, 1910).

Foto 15. Brecha Rolando. Monte Perdido

Paisaje

La imagen está tomada sobre la vertical del Valle de Añisclo, excavado por el Río Vellos, a la altura de Punta Pardinás. A la izquierda de la foto se observa la zona alta del Circo de Soaso. Entre el Circo de Soaso y el Valle de Añisclo está Sierra Custodia con el paso de Goriz.

Al frente Pico de Añisclo (3.254 m), Monte Perdido (3.355 m), Pico de Marboré (3.248 m) en la línea de frontera con Francia y la Brecha de Rolando.

Materiales

Los materiales que forman la cresta del Monte Perdido, Pico de Marboré y Brecha de Rolando, son las calizas arenosas y areniscosas de Marboré, formación que toma su nombre del Pi-



Foto 14. Torla. Ordesa.



Foto 15. Brecha Rolando. Monte Perdido.

co Marboré, de edad Mastrichtiense, Cretácico superior. En esta formación se producen escarpes muy impresionantes de color amarillo. En la pared norte del Macizo de Monte Perdido la potencia aparente de las areniscas de Marboré es de unos 400 metros, debido a la repetición de sucesivas escamas tectónicas.

Por encima afloran dolomías tableadas, calizas masivas, areniscas calcáreas, margas, calizas con sílex y margas de Millaris, de Edad Paleozoico e Ilerdiense.

En la Sierra de Custodia y Pico de

Añisclo, afloran calizas arcillosas y margas del Ilerdiense medio y superior y por encima aflora la serie turbidítica tipo Sierra Bolave Mondiciero.

Estructura

En el macizo de Monte Perdido se observan deslizamientos capa a capa en el Cretácico superior, mediante fallas inversas y se transforman en pliegues en el Paleoceno Ilerdiense. Las fallas pueden romper la serie provocando el corrimiento de escamas.



Foto 16. Viú, Tres Marías, Tucas, Valle Piñeta, Añisclo.

Foto 16. Viú, Tres Marías, Tucas, Valle Piñeta, Añisclo

Paisaje

La foto está tomada en la vertical de Viú. El centro corresponde al Valle de Añisclo en el Río Vellós. A la izquierda se observa los escarpes correspondientes a El Portillón y Punta Crespena, en dirección Norte se sigue viendo Sierra Custodia y la silueta de Monte Perdido. En el frente y en la margen izquierda del Valle de Añisclo se aprecian con claridad las lomas de los Sestrales. Dentro del Barranco de Airés se ve la plataforma correspondiente a la Peña L'Ombre Castillo Mayor. Al fondo en la Sierra de las Tucas se aprecian las siluetas características de Las Tres Marías.

Materiales

En el Barranco de Añisclo afloran materiales del Cretácico superior, areniscas de Marboré. En las crestas del Portillón, Punta Crespena y en las lomas de los Sestrales afloran las calizas y dolomías del Paleoceno e Ilerdiense.

En la Peña L'Ombre y Castillo Mayor así como en la Sierra de las Tucas, afloran las calizas masivas y areniscas paleocenas.

Estructura

La Sierra de las Tucas, corresponde a la escama denominada de las Tres Marías, serie la segunda escama de las tres superpuestas existentes en el Macizo de Monte Perdido. Los pliegues anticlinales evolucionan a fallas inversas.

También en el Valle de Añisclo se observan cómo en los núcleos de los pliegues anticlinales aparecen fallas inversas muy tendidas que afectan al Paleoceno inferior y a las areniscas de Marboré.

Foto 17. Peña Montañesa

Paisaje

La imagen está tomada frente a la Peña Montañesa en el extremo Oeste de Sierra Ferrera.

Se observa el Pico Peña Monta-



Foto 17. Peña Montañesa.

ñaesa o de San Victoriano de 2.291 metros, separado por la Espulga de Faixa Basé o la Canal ancha se observa la Peña Agujereada de 2.173 metros. En segundo término a la izquierda de la imagen está Peña Solana de 1.931 metros.

Materiales

Los materiales de Peña Montañesa están formados por las secuencias de Valcarga y Arén, facies Garum y por las calizas con alveolinas y margas del Eoceno inferior.

Estructura

En Peña Montañesa se observa el plano de cabalgamiento que es subhorizontal y va cortando hacia el Sur materiales cada vez más recientes.

Foto 18. Sierra Ferrera

Paisaje

La imagen está tomada desde la vertical de Campo en el Valle del Río Esera. Se observa toda la Sierra Ferrera desde el Pico Ferrera 1.827 metros, en su extremo Oeste hasta Peña Montañesa 2.291 metros. Entre ambos, el Collado de el Santo 1.796 metros, La Estiva 2.168 metros, la Forquiella 2.172 metros, Peña Madrid 1.982 metros, Pimpinos 2.076 metros, Peña Agujereada 2.173 metros.

Al Norte de la Sierra aparece el barranco de Viú y las estribaciones del Pico Cotiella.

Al Sur está el Somontano de Sierra Ferrera.

ASISTENCIA SANITARIA



TE MERECE
LO MEJOR

En el área de la SALUD, PreviaSA te ofrece lo mejor: Cuidado eficaz de tu salud y la de los tuyos, la tecnología más avanzada, trato personalizado, servicio exclusivo de atención como cliente,...

Además de otras muchas ventajas. Entre ellas:

- **AMPLIO CUADRO MÉDICO**
Más de 20.000 médicos y más de 200 clínicas, en España y el resto de Europa.
- **TARJETA PREVICARD**
Para que Vd. se ahorre trámites, tiempo, dinero,...
- **TELÉFONO 24 HORAS**
- **COBERTURA MULTIDENTAL**
- **COBERTURA DE OTROS RIESGOS**
Por medio de nuestros seguros.

TELÉFONO
URGENCIAS
24 HORAS



Príncipe de Vergara, 76. Tel. 379 04 00. Fax. 411 48 49 - MADRID



Foto 18. Sierra Ferrera.

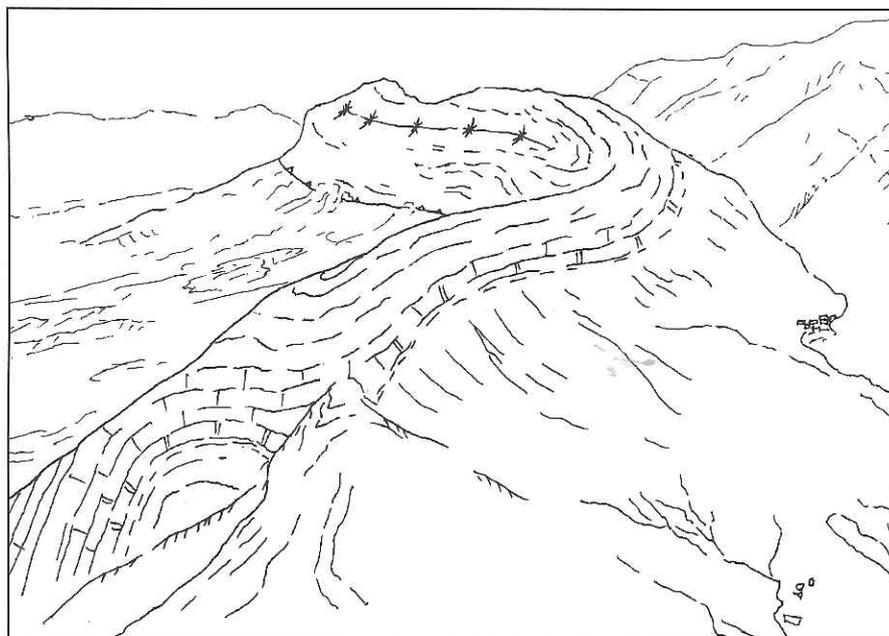


Foto 18. Sierra Ferrera. Diagrama estructural.

Materiales

Las estribaciones del Cotiella está formado por materiales calizos del Cenomaniense-Coniaciense, en el fondo del Barranco de Viú afloran los materiales del Campaniense-Mastrichtiense, areniscas de Marboré y calcoesquistos de Navarellas.

Por encima geológicamente y ya en Sierra Ferrera pueden observarse los materiales de la Facies Garum, Formación Salarns, Secuencia Cadí con calizas de alveolinas. Los materiales más altos de la Sierra

Ferrera corresponden a Secuencias Figols.

Estructura

Estos materiales se estructuran en la Sierra Ferrera en una doble flexión sinclinal-anticlinal con una orientación que varía de NW-SE a E-W. Estos pliegues se pierden contra la falla de Foradada del Toscar de dirección NNW-SSW y a partir de ahí la serie pasa a ser monoclinal con un buzamiento hacia el S o SW según Begoña Martínez, 1991. ■

Bibliografía

BARNOLAS, A. y TEIXELL, A. (1992): «La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepaís marina profunda con sedimentación carbonática en el margen discal». III Congr. Geol. de España, Salamanca. Simposios 2: 39-47 pp.

CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J. (1985): «Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (cuencas de Jaca-Tremp)». *Estudios Geológicos*, 41: 391-404 pp.

ECORS Pyrenee Team (1988): «The ECORS deep reflection seismic survey across the Pyrenees». *Nature*, 331: 508-511 pp.

GUIMERA, J. (Ed.) (1992): *Geologia II. Història Natural dels Països Catalans*, vol. 2. Fundació Enciclopedia Catalana. Barcelona, pp. 13-371.

LABAUME, P.; SEURET, M. y SEYRE, C. (1985): «Evolution of a turbiditic foreland basin an analogy with an accretionary prism: Example of the Eocene South-Pyrenean basin. *Tectonics*, 4: 661-685 pp.

MARTINEZ PEÑA, M. B. (1991): *La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central*. Tesis Doct. Univ. Zaragoza. Instituto de Estudios Altoaragoneses. 25 Ciencias de la Tierra y del Espacio, 312 pp.

MARTINEZ PEÑA, M. B.; MILLAN, M. y POCOVI, A. (1992): «Láminas cabalgantes del sector central del Pirineo meridional (provincia de Huesca)». *Simposio sobre Geología de los Pirineos*. III Congr. Geol. de España, Salamanca. Simposios 2: 130-139 pp.

MILLAN, H.; POCOVI, A. y CASAS, A. (1995): «El frente de cabalgamiento surpirenaico en el extremo occidental de las Sierras Exteriores». *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8:

MUÑOZ, J. A. (1992): «Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section». In: K. R. McKee (Ed.). *Thrust Tectonics*. Chapman & Hall. Londres, pp.: 235-246.

PUIGDEFABREGAS, C. (1975): «La sedimentación molásica de la cuenca de Jaca». *Pirineos*, 104: 188 pp.

PUIGDEFABREGAS, C.; MUÑOZ, J. A. y MRZO, M. (1986): «Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basin». In: P. A. Allen y P. Homewood (Eds.), *Foreland Basins*. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 8: 229-246 pp.

ROURE, F.; CHOUKROUNE, P.; BERAESTE-GUI, X.; MUÑOZ, J. A.; VILLIEN, P.; MATHERON, P.; BAREYT, M.; SEURET, M.; CAMARA, P. y DERAMOND, J. (1989): «ECORS Deep Seismic data and balanced cross-sections: Geometric constraints on the evolution of the Pyrenees». *Tectonics*, 8: 41-50 pp.

SEURET, M. (1992): *Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de l'compression et de la gravité*. Thèse Univ. du Languedoc. Publ. USTELA. Série Géol. struct. 2. Montpellier, 155 pp.

TEIXELL, A. (1990a): «Alpine thrust at the western termination of the pyrenean Axial Zone». *Bull. Soc. géol. France* (8), 6: 241-249 pp.

TEIXELL, A. (1990b): «El Cretácico superior en la terminación occidental de la Zona Axial Pirenaica». *Geogaceta*, 8: 84-86 pp.

TEIXELL, A. (1992): «Corte estructural a través de la terminación occidental de la Zona Axial (Pirineo Central)». *III Congr. Geológico de España*, Salamanca. Simposios 2: 205-210 pp.

!!! SUSCRIBASE a . . . !!!



una publicación especializada en temas relacionados con ...

- Medio Ambiente
- Ingeniería Geológica
- Teledetección y SIG
- Exploración Minera
- Recursos Minerales
- Hidrogeología
- Hidrocarburos
- Geofísica
- Mineralogía
- Construcción y auxiliar
- Energía eléctrica, agua y gas, así como ...

... otros sectores relacionados con las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente

SOLICITUD DE SUSCRIPCION



REMITIR A:

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos
 Avda. Reina Victoria, 8 - 4º B - 28003 MADRID
 Telf.: 91 - 553 24 03 - Fax : 91 - 533 03 43

Nombre	DNI
Empresa	CIF
Actividad	
Calle	
C.P. Población	Provincia
Telf.	Fax

Formas de Pago:

- Cheque bancario adjunto nº
- Giro Postal nº

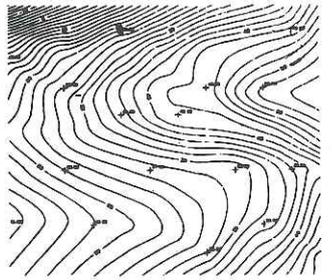
(Suscripción anual 2.500,- ptas.)

Conforme:

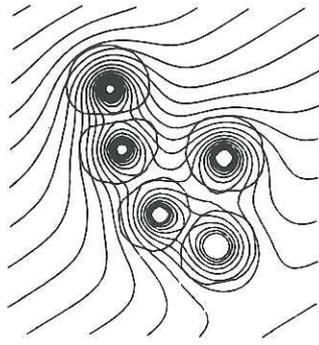
(Firma y sello de la empresa)

EL SOFTWARE

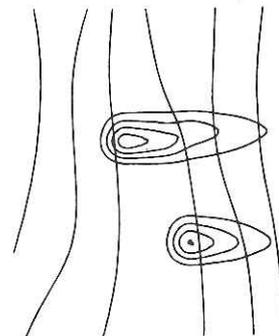
Restitución topogràfica



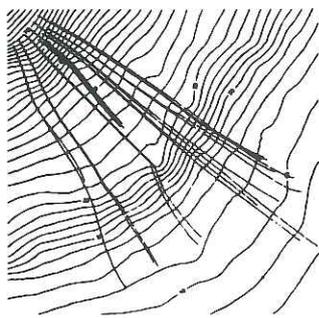
Isócronas



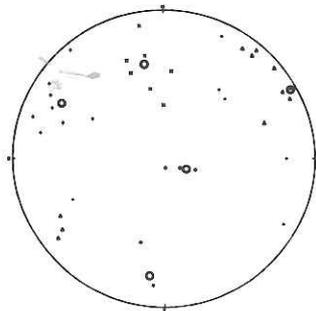
Concentraciones



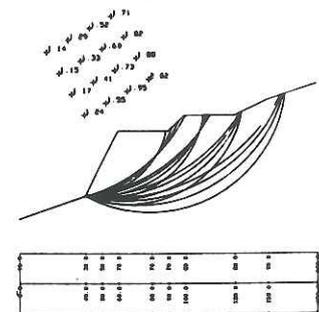
Análisis de desprendimientos



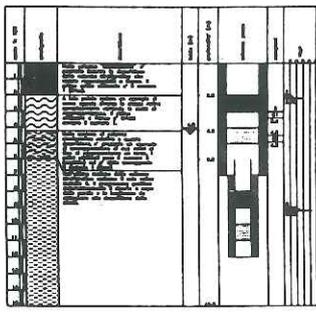
Clustering



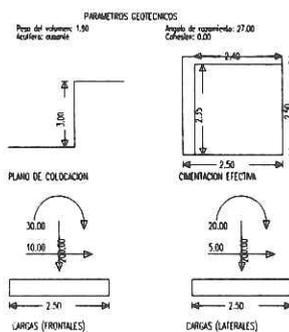
Estabilidad de taludes



Estratigrafía



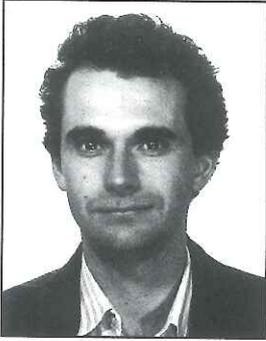
Cimentaciones



geo&soft
international

Distribuidor Exclusivo:
Cúbic Serveis Tecnològics
C/ Llacuna 162 Ofic. 412 Barcelona
Tel. (93) 401.96.64 - Fax (93) 401.96.65

LA MODELIZACION DE YACIMIENTOS Y SU APLICABILIDAD EN LA PROSPECCION DE MENAS METALICAS Y ROCAS INDUSTRIALES



Fidel Ribera Urenda

Licenciado con Grado en Geología Aplicada por la Universitat de Barcelona (1989) y Máster en Ingeniería Geológica y Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid (1994). Colegiado n.º 2.442. Su actividad profesional ha tenido lugar hasta el momento en el Departamento de Cristalografía, Mineralogía i Deposits Minerals de la UB y en el Servicio de Infraestructura Minera del ITGE, en Madrid.

En este artículo se describen las principales técnicas y metodologías para la modelización de yacimientos metálicos y algunas rocas industriales (talco, barita, magnesita, etc.) y su aplicación en la prospección de recursos.

The aim of this paper is to describe the methodology and the more common techniques for the genetic modelling of ore deposits and some industrial rocks. In addition, it will try to show the potential of modelling in mineral exploration.

Introducción

La continua demanda de materias primas ha hecho necesaria la incorporación sucesiva de metodologías cada vez más sofisticadas en la exploración de los recursos minerales, a medida que la dificultad de hallar un yacimiento se incrementaba. Asimismo, el aumento de la calidad de vida en algunas zonas del globo ha potenciado el uso cada vez más variado de minerales con características muy específicas y, debido a ello, una exploración notoriamente más efectiva. Estos hechos han potenciado a la modelización de yacimientos como una de las disciplinas cada vez más tenidas en cuenta por las multinacionales mineras, en el momento de plantear una campaña de exploración.

La modelización es la rama de la geología que pretende fundamentalmente dar respuesta al porqué y cómo aparece un yacimiento en un determinado lugar de la corteza, a cuáles son los procesos físico-químicos involucrados en su génesis, cómo se transportan en el fluido y cómo se distribuyen en el depósito los elementos económicamente más importantes, qué vías de acceso tuvo el fluido mineralizador, cuál es el potencial económico del proceso mineralizador y si pueden repetirse condiciones similares en otras zonas. Para intentar responderlas se utilizan una serie de técnicas que se describirán a continuación:

Técnicas fundamentales en la modelización de yacimientos

Cartografía minero-metalogénica: Básicamente consiste en una car-

tografía geológica y las alteraciones geoquímicas o mineralógicas asociadas que muestran las litologías circulantes. La escala de trabajo suele ser inferior a 1:5.000, siendo normal la realización de mapas a escala 1:100 ó 1:50 según los casos. Una variante de este tipo de cartografías son los mapas de galerías mineras, lugares donde la relación encajante-mineralización suele ser más evidente. Es importante destacar que lo que se trata de cartografiar varía mucho según el tipo de yacimiento a modelizar. A escalas mucho menores, entre 1:100.000 y 1:400.000, se suelen realizar los mapas metalogénicos regionales (mapas metalogénicos del ITGE, mapas minero-metalogénico provinciales o a nivel de comunidad autónoma), cuya función principal es plasmar la densidad de indicios, agrupados según características geológicas afines que se dan en el territorio o la sustancia potencialmente explotable. La escala de trabajo no permite la resolución de los trabajos más locales, aunque su capacidad de síntesis y de contextualización dentro de la geología regional es mucho mayor.

Estudios petrográficos: Es importante distinguir los estudios microscópicos de láminas delgadas en minerales transparentes y los estudios de probetas pulidas en minerales opacos, muy utilizados en metalogena cuando lo que se trata de caracterizar es una paragénesis de sulfuros, wolframatos u óxidos. En ambos casos se suele buscar la identificación de las especies minerales presentes en la zona de estudio y el establecer su sucesión paragenética, reflejando la existencia de zonaciones o las relaciones texturales entre las distintas fases. Asimismo, una

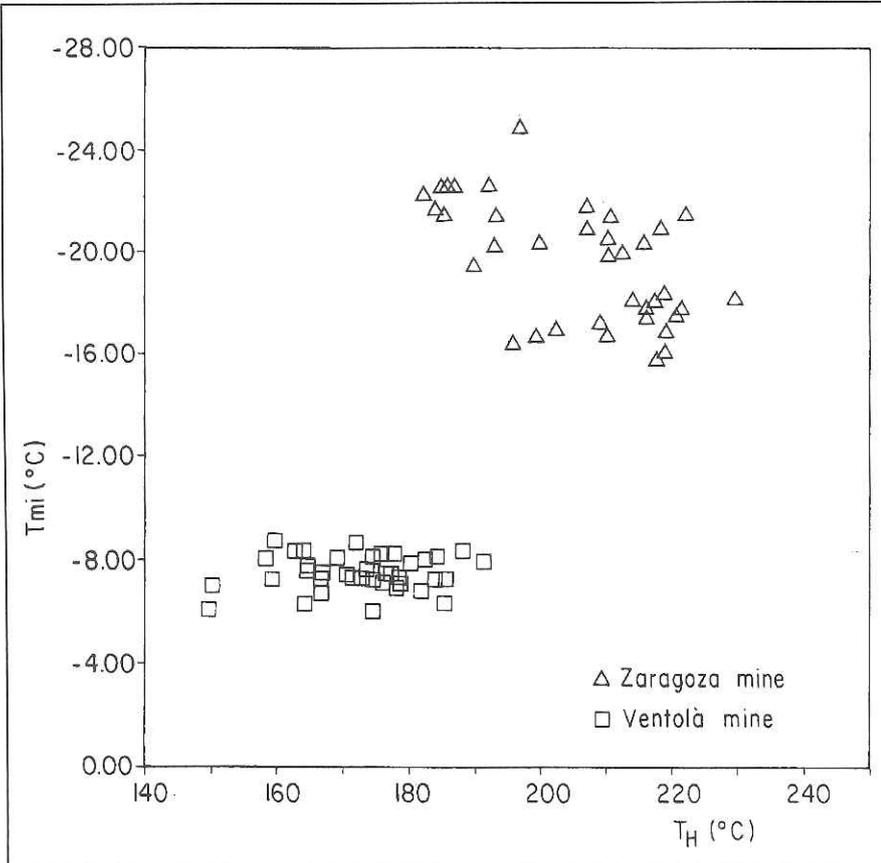


Fig. 1. Temperatura de homogeneización-Temperatura de última fusión del hielo en el filón principal de la Mina Zaragoza, datado como posterior a la foliación principal y la cercana mineralización de Ventolà, reemplazamiento de carbonatos relacionado con un cabalgamiento regional alpino. En ambos indicios de oro-arsénico se verifica una clara diferencia entre las características del fluido mineralizador (Ayora et al., 1992).

vez realizada la descripción anterior, es posible aplicar a las láminas y probetas diferentes técnicas de análisis químico de detalle, como la que proporcionan aparatos como la Microsonda Electrónica o el EDAX-GEOL. Con ellos podemos determinar, sin destruir la muestra, la proporción atómica de un mineral o sus contenidos en elementos trazas, pudiendo establecer comparaciones con otras mineralizaciones conocidas.

Litogeoquímica: De los análisis químicos de muestras de la roca mineralizada y del encajante es posible obtener información estadística sobre los fondos geoquímicos regionales así como de la evolución de los diferentes elementos mayores y trazas alrededor de los cuerpos mineralizados para verificar la existencia de aureolas geoquímicas. El muestreo puede realizarse sobre los distintos afloramientos, aunque no es extraño que los análisis se obtengan a partir de muestras de sondeos.

Estudio de las inclusiones fluidas: La investigación de los gases y líquidos atrapados durante el crecimen-

to de los minerales de un determinado yacimiento permite obtener información sobre los tipos de fluidos involucrados en su génesis para por ejemplo, poder discriminar tipos de mineralizaciones auríferas pirenáicas (Figura 1). Su estudio se realiza fundamentalmen-

La continua actividad extractiva ha hecho necesaria la incorporación sucesiva de metodologías cada vez más sofisticadas para la exploración de los recursos minerales, a medida que la dificultad de hallar un yacimiento se ha ido incrementando.

te utilizando secciones pulidas por las dos caras de los minerales que contienen las inclusiones, aunque pueden usarse, si el material lo permite, cristales sin cortar. El método de trabajo se basa en la determinación al microscopio de los cambios de estado de los fluidos y sólidos atrapados en las inclusiones en función de la temperatura en que éstos ocurren. De dichos datos termométricos es posible obtener rangos de salinidad, la proporción aproximada de cationes disueltos, los tipos de fluidos presentes, la densidad y la temperatura de atrape del fluido. Actualmente, la combinación de los estudios microtermométricos con los análisis espectrométricos de masas aportan datos cuantitativos sobre la proporción de gases existentes o cationes disueltos en el líquido. Dichos análisis pueden realizarse inclusión a inclusión, utilizando la ultracongelación o, si sólo existe una población de inclusiones, triturando la muestra en vacío y analizando el fluido atrapado.

Geoquímica de isótopos estables: La relación isotópica del oxígeno o carbono en carbonatos, del azufre en sulfuros y del oxígeno en silicatos suministra una importante información sobre el origen, la evolución y la interacción de los fluidos hidrotermales con el medio. El estudio de los isótopos estables de un elemento se basa en el *factor de fraccionamiento isotópico* (ϵ) que se define como la relación existente entre el isótopo pesado (con un mayor número másico) y el ligero de dicho elemento en un determinado compuesto químico (A), dividido entre la misma relación en otro compuesto químico (B). Otro parámetro importante es el factor delta (δ), que se define respecto a una sustancia como la diferencia de la relación entre el isótopo pesado y el isótopo ligero entre la sustancia y un compuesto standard, expresada en ‰. Los standards más utilizados son el PDB (Pee Dee Belemnite) en el caso del carbono, la CDT (Cañón del Diablo Troilite) para el azufre y el SMOW (Standart Mean Oceanic Water) en el oxígeno. Hay además una relación entre ϵ y δ , de manera que:

$$10^3 \ln \epsilon_{A-B} = \delta A - \delta B \cong \Delta_{A-B}$$

siendo A y B dos minerales. La diferencia entre la δA y la δB es función de la temperatura. De esta forma se puede calcular, experimental o teóricamente, los factores de fraccionamiento

a diferentes temperaturas entre diversos minerales y el fluido, siempre que hayan cristalizado en equilibrio. Si no se tienen garantías de obtener pares minerales cogenéticos, la signatura isotópica puede dar información sobre los medios de depósito, al comparar el encajante en las zonas mineralizadas, los carbonatos hidrotermales y las áreas estériles. Así, la signatura de carbono y oxígeno en los carbonatos puede aportar datos sobre la evolución diagenética de una cuenca o sobre el origen de dichos elementos y su grado de mezcla o interacción con el encajante. En el caso del azufre, la evidencia de la variación de la signatura de los sulfatos a través del tiempo geológico ha permitido establecer comparaciones entre los sulfatos sedimentarios y los sulfuros de distintos tipos de mineralizaciones. También es posible (con algunas condiciones previas) establecer diferencias entre sulfuros de origen magmático (con $\delta^{36}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ cercanas a 0) y los que provienen de la reducción bacteriana o térmica de los sulfatos (con valores de δ muy variables según el indicio), como ocurre en diversas mineralizaciones auríferas asociadas a fracturas en el noroeste peninsular (Figura 2). Del mismo modo, el estudio de la signatura del oxígeno en silicatos de las mineralizaciones puede proporcionar datos sobre el origen del fluido mineralizador.

Estudios geoquímicos de isótopos radioactivos: Existen dos grupos fundamentales de isótopos radioactivos que se utilizan en modelización: los isótopos de plomo y de estroncio.

En metalogenia los isótopos de plomo se utilizan principalmente para definir dos parámetros como: La edad de generación del plomo de un determinado yacimiento o *edad modelo* (que no tiene porqué coincidir con la edad de la mineralización) y el *ambiente geoquímico* que dio origen a dicho plomo.

La *edad modelo* se define como el tiempo transcurrido desde que dicho elemento fue generado, bien como plomo original, bien como producto de la semidesintegración de elementos radioactivos como el uranio o el thorio. La posibilidad de datar el plomo contenido tanto en los sulfuros de multitud de mineralizaciones como en diversas litologías ha llevado a que, a lo largo de este siglo, se hayan desarrollado diversos modelos que intentan definir cuantitativamente la evolución isotópica que presenta dicho elemento. Todos los mode-

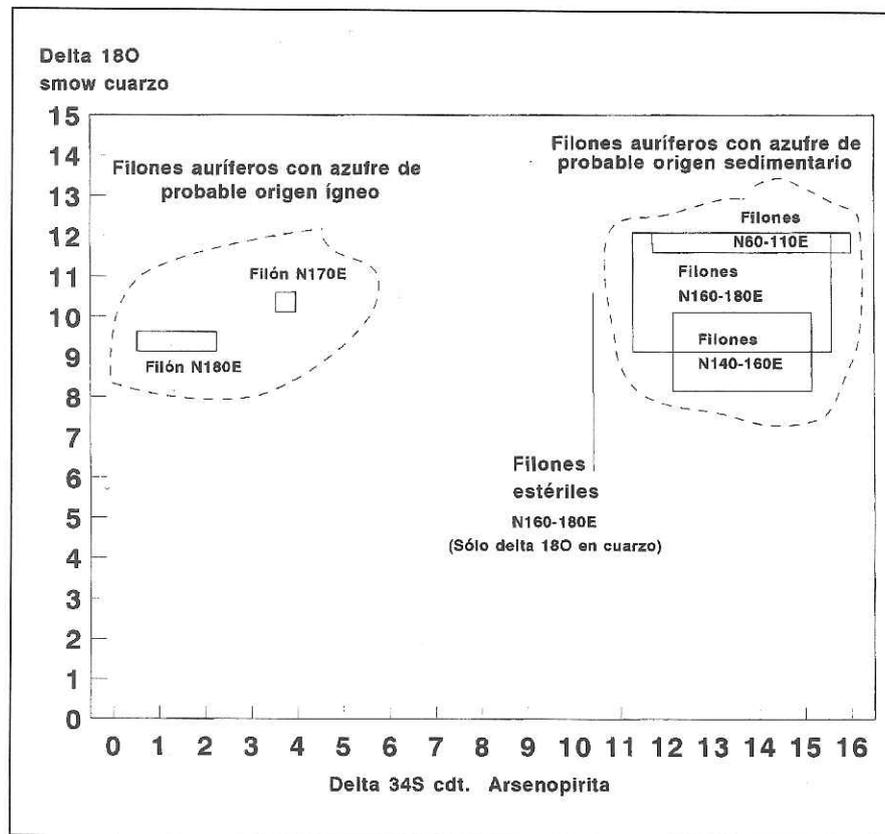


Fig. 2. Diagrama $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ en filones de cuarzo con arsenopirita y oro, con una temperatura de mineralización similar (ITGE, 1994). Se destacan dos fuentes distintas del azufre en los diversos filones y, sin embargo, una fuente para el oxígeno. Por otro lado, los cuarzos procedentes de diques estériles tienen una signatura algo más ligera.

los experimentales existentes en este campo necesitan de una edad inicial del plomo, a partir de la cual poder establecer comparaciones temporales (en definitiva, poner a *cerro* el reloj). Este *tiempo 0*, que varía en los distintos modelos se considera la edad de la tierra.

El valor de la composición isotópica del plomo depende del contenido

La investigación de los gases y líquidos atrapados durante el crecimiento de los minerales de un determinado yacimiento permite obtener información sobre los tipos de fluidos involucrados en su génesis.

de U-Th-Pb del *ambiente geoquímico* en el que éste se ha generado. La relación $\mu = \text{U/Th}$ permite referir un origen del plomo analizado al manto superior ($\mu < 9$), la corteza inferior ($\mu \sim 9,0$) o la corteza superior ($\mu > 10$) (Doe & Zartman, 1979).

Por otro lado, la proporción de plomo original respecto al plomo radiogénico parece presentar algún tipo de relación con las reservas de sulfuros existentes en algunas mineralizaciones, lo que le da, desde el punto de vista de la exploración, cierto interés. Por desgracia, existen problemas para extrapolar de forma satisfactoria las pautas de exploración de los isótopos de plomo obtenidas en un determinado grupo de yacimientos a otros con características similares. A pesar de ello, la comparación de la signatura del plomo entre yacimientos puede ayudar a establecer relaciones entre ellos, como entre la Mina de Rubiales y los indicios de Zn-Pb en El Bierzo-Caurel (Figura 3).

El estroncio es uno de los elementos que constituyen el grupo de los alcalinotérreos. Su radio iónico es muy

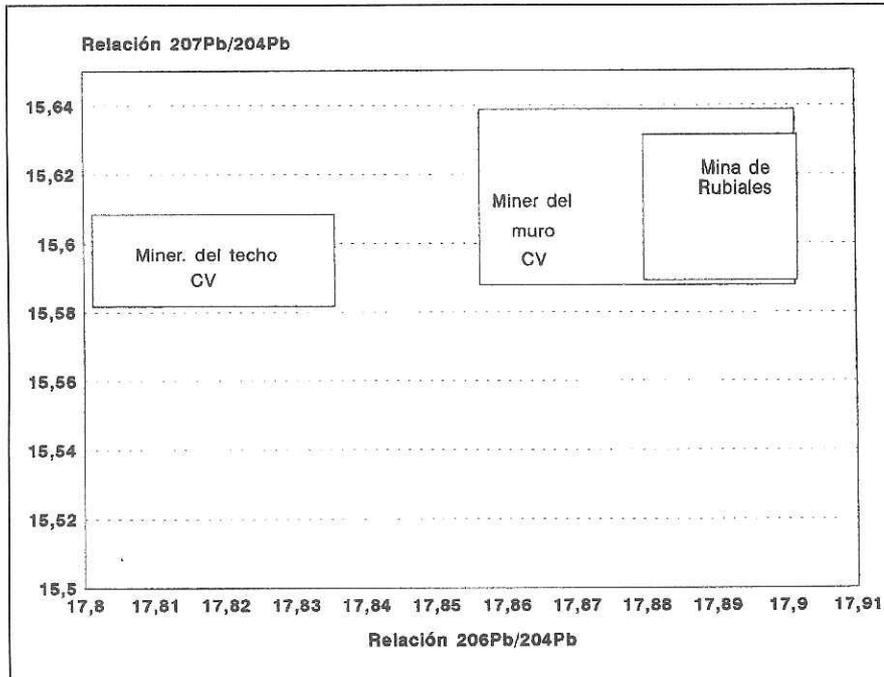


Fig. 3. Relaciones isotópicas del plomo entre las mineralizaciones del muro y del techo de la Fm. Caliza de Vegadeo (datos en Tornos et al., 1995) y la Mina de Rubiales (datos en Tornos y Arias, 1993), todas ellas en el Cámbrico de la Rama Sur de la Zona Asturoccidental Leonesa. Las relaciones 207/204 son idénticas en las tres, mientras que existe una similitud total entre la Mina de Rubiales y los indicios del muro en la relación 206/204, siendo los indicios del techo algo menos radiogénicos. En conjunto parece deducirse una cierta relación entre los tres tipos de mineralización.

similar al del calcio, hecho que favorece el reemplazamiento Sr-Ca en los minerales que contengan al segundo elemento. El Sr tiene 4 isótopos naturales, con número másico 88, 87, 86 y 84, siendo la totalidad de ellos estables. Sus proporciones medias aproximadas en la naturaleza son: 82,53 %; 7,05 %; 9,87 % y 0,56 % respectivamente, aunque hay que tener en cuenta que estas proporciones varían en base a la incorporación de ⁸⁷Sr, producto de la semidesintegración de ⁸⁷Rb. Debido a este fenómeno, la determinación precisa de la composición isotópica del estroncio de un mineral que contenga rubidio depende de la edad y la relación Rb/Sr del mineral. La composición isotópica del estroncio circulante en un determinado fluido depende de la relación ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de los tipos de rocas que interactúan con dicho fluido (Faure, 1986). El Sr incorporado a la solución es homogeneizado isotópicamente por la mezcla con Sr de diferente signatura durante el transporte, hasta que llega a una determinada cuenca receptora. Es en dicha cuenca donde el elemento se incorpora a la litogénesis, principalmente por la coprecipitación con el carbonato cálcico y/o magnésico o con el sulfato cálcico. El resulta-

do de este proceso a través de la historia geológica es que, tanto en las rocas carbonatadas como en las evaporíticas, se registra la variación isotópica del estroncio en los océanos y los continentes durante el Proterozoico y el Fanerozoico. El estudio de las relaciones isotópicas del ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr en carbonatos relacionados con las mineralizaciones, con su encajante o con los procesos de alteración, han demostrado su utilidad en numerosos trabajos sobre mineralizaciones relacionadas con cuencas sedimentarias, permitiendo en algunos casos discriminar fluidos implicados en su génesis.

Modelización termodinámica y físico-química: A partir de los análisis químicos de la roca encajante y la mineralización, de las relaciones de equilibrio mineral estudiadas en las preparaciones y sus proporciones atómicas, de los análisis microtermométricos en inclusiones fluidas y de los geotermómetros isotópicos, se puede modelizar, partiendo de un número relativamente elevado de ecuaciones de equilibrio químico, las variaciones del sistema en la actividad de los distintos cationes, los minerales que precipitarán, el pH, la fO₂, la fS₂ y la presión confinante, en función de la temperatura. Ello permi-

te por un lado, comprobar la similitud entre las observaciones mineralógicas y el modelo, así como prever la solubilidad (capacidad de transporte en el fluido hidrotermal) o la precipitación (presencia en la mineralización) de elementos económicamente significativos como el Au, Zn, etc.

Cronología: La datación absoluta de las mineralizaciones, a partir de determinados minerales asociados a ellas, ha permitido poder relacionar temporalmente una mineralización con distintos procesos geológicos (intrusiones ígneas, orogénesis, diversas generaciones de filones, etc.) de los cuales, en el mejor de los casos, únicamente se observaba una relación espacial y se establecía una cronología relativa. La mayoría de los métodos de datación se apoyan en los tiempos de semidesintegración radioactiva natural en los isótopos de determinados elementos, que constituyen los minerales relacionados con las mineralizaciones, siempre que éstos no hayan sufrido reequilibrios posteriores. Los más utilizados son los métodos del K-Ar, el Rb-Sr y el Sm-Nd, aplicándose también, aunque con limitaciones, el Lu-Hf (en circones), Re-Os (útil en sulfuros de Mo y Cu), U, Th-Pb (en circones, monacitas, esfenas, apatito o minerales de U y Th).

El método del K-Ar se basa en la semidesintegración del ⁴⁰K en ⁴⁰Ar y se utiliza en minerales que contienen potasio, como la biotita, moscovita, hornblenda o sanidina. El Rb-Sr se utiliza en minerales ricos en estos elementos como las micas, feldespato potásico, arcillas, carbonatos, apatito y plagioclasas. Por último, el método del Sm-Nd se utiliza en general cuando los dos anteriores no dan resultados favorables, ya que dichos elementos, del grupo de las Tierras Raras, se encuentran en proporciones muy bajas dentro de una gran cantidad de minerales. ■

Bibliografía

AYORA, C.; RIBERA, F. y CARDELLACH, E. (1992): *Economic Geology*, vol. 87, págs. 1.877-1.896.
 DOE, B. R. y ZARTMAN, R. E. (1979): *Plumbotectonics 1*, en *Geochemistry of Hydrothermal ore Deposits*, 2 ed., 1 vol., ed. Holt, Rinehart & Wiston, New York.
 FAURE, G. (1986): *Principles of Isotope Geology*, 2 ed., 1 vol., ed. Wiley, New York.
 ITGE (1994): *Proyecto MIDAS-CEE*. Informe interno.
 TORNOS, F. y ARIAS, D. (1993): *European Journal of Mineralogy*, vol. 5, págs. 763-773.
 TORNOS, F.; RIBERA, F.; SHEPHERD, T. y SPIRO, B. (1995): *Mineralium Deposita* (En prensa).

EVOLUCION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN UNA CUENCA SEDIMENTARIA SEMIARIDA (ACUIFERO DE BAZA-CANILES, GRANADA, ESPAÑA)



María del Carmen Hidalgo Estévez

Licenciada en Ciencias Geológicas (1988) y Doctora en Ciencias Geológicas (1993) por la Universidad de Granada. Becaria del Plan Nacional de Formación de Personal Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y del Instituto del Agua de la Universidad de Granada. Becaria Postdoctoral de la Universidad de Granada (1993-1994). Durante este período ha estado adscrita al Centre d'Hydrogéologie de l'Université (Suiza), donde ha trabajado en la aplicación de modelos matemáticos en Hidrogeología, y al Laboratoire de Géologie de la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza). Profesora Asociada en el Departamento de Geología de la Universidad de Jaén desde noviembre de 1994.



José Javier Cruz Sanjulían

Licenciado en Ciencias Geológicas (1969), Doctor en Ciencias Geológicas (1974) y Diplomado en Programación de Aplicaciones Científicas (1976) por la Universidad de Granada. Profesor de la Universidad de Granada y del Colegio Universitario de Málaga desde 1969. Becario «mois-chercheur» del Gobierno francés en el Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique (Centre d'Informatique Géologique, Ecole Nationale Supérieure de Mines de Paris, Fontainebleau, Francia) en 1976, 1977 y 1978. Profesor Adjunto, Profesor Agregado, Catedrático de Geodinámica Externa e Hidrogeología y Director del Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la Universidad del País Vasco (período 1978-1986).



Ana Sanromán Mendizábal

Licenciada en Farmacia por la Universidad de Granada en 1986. Becaria de Apoyo Técnico del Plan Andaluz de Investigación en el Instituto del Agua de la Universidad de Granada. Becaria de investigación con participación en distintos Proyectos del Instituto del Agua desde octubre de 1993 hasta la actualidad.

The physico-chemical data from the analysis of water from the Baza-Caniles detritic aquifer (Province of Granada, Spain), was used to assess the quality of the groundwater resources, and to determine the main geochemical processes which are taking place in the aquifer system. An incongruent dolomite dissolution was indentified in the unconfined sectors of the mio-pliocene detritic aquifer affected by the presence of evaporite deposits. In the quaternary aquifer a rise in CO₂ content in the water can be observed, which encourages carbonate dissolution. The bicarbonate-sulfate character of the water in the confined shallow sectors of the mio-pliocene aquifer is interpreted as a result of calcite precipitation, accompanied in certain areas by halite dissolution in a slightly reducing medium. A confined reduction zone linked to the deep sector of the aquifer, under evaporite impermeable materials, can be identified from analytical data. The geochemical characteristics of this brackish water are the result of the halite and sulphate dissolution and redox processes.

Introducción

La depresión de Baza, situada al NE de la provincia de Granada, es un área intramontañosa con un clima continental semiárido y escasa pluviometría (350 mm/año), distribuida fundamentalmente entre otoño y primavera. Al no existir ríos de carácter permanente, sobre los cauces de la red superficial sólo existe flujo en las épocas de precipitaciones más intensas. Esta situación conduce a que sean sobre todo los recursos hídricos subterráneos los que satisfacen la demanda tanto para uso doméstico como industrial y agrícola, actividad esta última que constituye la base de la economía del sector.

El área estudiada ocupa una superficie de 640 Km², con una altitud media de 840 m.s.n.m.; las actividades agrícolas se desarrollan en 7.090 hectáreas, con unas dotaciones insuficientes frente a la demanda teórica total, lo que se traduce en un considerable déficit de agua (entre 36 y 62 hm³/año) en los regadíos (Urbano et al., 1991). La mayor parte de las aguas subterráneas utilizadas provienen de la explotación del sistema acuífero de Baza-Caniles. Con objeto de incrementar las dotaciones de agua disponible para agricultura, se han realizado en los últimos años numerosos sondeos, con resultados muy diversos en cuanto a productivi-

dad y quimismo del agua extraída. De forma general, los caudales más importantes se han obtenido en las áreas topográficamente más bajas de la depresión, pero el agua extraída presenta una alta salinidad, que puede llegar a limitar su utilización en ciertos casos.

El sistema acuífero de Baza-Caniles está constituido por los depósitos de edad Neógeno-Cuaternario que sellan el contacto entre las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Bética. Las características geológicas de esta región han sido estudiadas en detalle por numerosos autores (i.e., Vera, 1970; Peña, 1985; Goy et al., 1991; Guerra, 1992). A la vista de dichos trabajos, cabe distinguir las siguientes formaciones sedimentarias: a) conglomerados, arenas y margas marinas de edad Tortoniense superior, b) conglomerados, arenas y lutitas de la Formación Guadix, resultado de depósitos aluviales de edad Mio-plioceno, c) calizas, margas, margocalizas, lutitas y yesos de la Formación Baza, también de edad Mio-plioceno y d) terrazas aluviales de edad Cuaternario, constituidas por conglomerados con abundante matriz lutítica (Figura 1). Los materiales de edad Tortoniense constituyen la base de la secuencia, sobre los cuales se disponen las Formaciones Guadix y Baza, relacionadas entre sí por un cambio lateral de facies. En la minerología de los materiales plioceno-pleis-

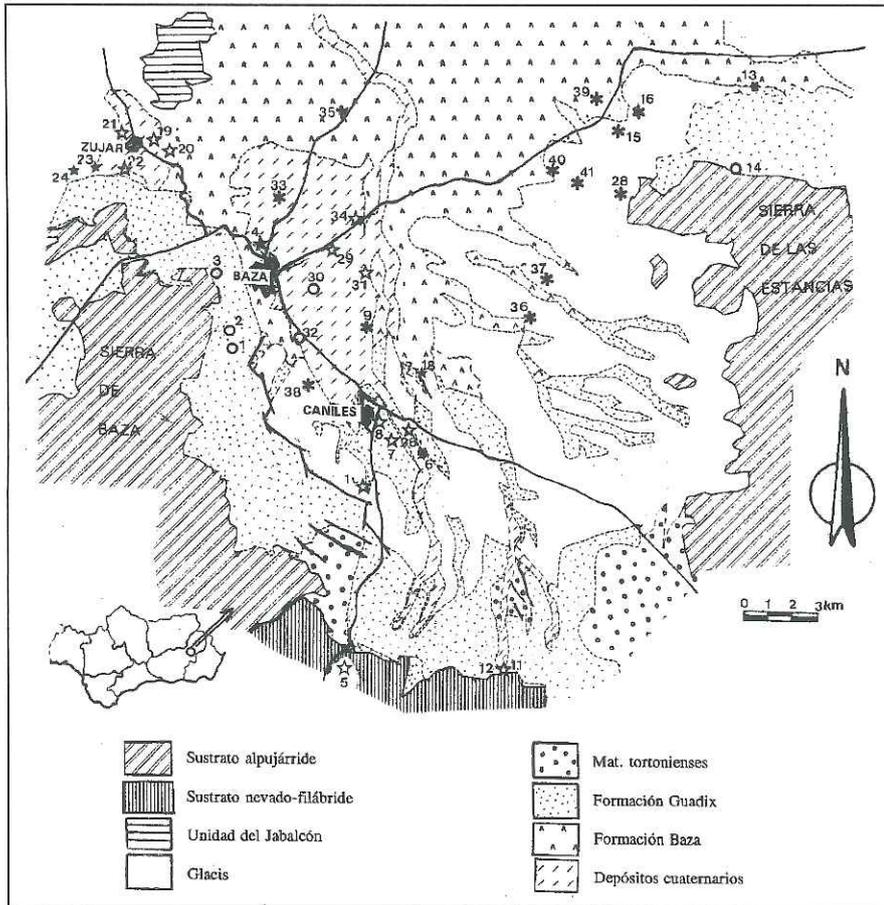


Fig. 1. Localización de las muestras estudiadas: ○ facies bicarbonatada, ☆ facies bicarbonatada-sulfatada, ★ facies sulfatada-bicarbonatada, * facies sulfatada y * facies clorurada.

tocenos (Sebastián-Pardo et al., 1980) siempre están presentes cuarzo y calcita, acompañados en el caso de la Formación Guadix por dolomita, minerales laminares, hematites y feldspatos, y en la Formación Baza, por dolomita, yeso y minerales laminares (ilita, fundamentalmente, junto con caolinita y clorita como minoritarios).

Durante el período comprendido entre agosto de 1989 y enero de 1992 se muestrearon y analizaron más de 400 puntos de agua ubicados sobre los materiales detríticos del relleno de la depresión. En todos los casos se determinaron en laboratorio los contenidos en constituyentes mayoritarios de las aguas, además de realizar *in situ* medidas de temperatura, conductividad, pH, Eh y oxígeno disuelto. Además, en unas 40 muestras seleccionadas dentro del conjunto, se analizaron de forma periódica los contenidos en oxígeno 18 y deuterio, así como compuestos nitrogenados y fosfatos (Hidalgo, 1993). Como complemento a la labor anterior y con objeto de estudiar en detalle la evolución geoquímica de las aguas, se

procedió durante el verano de 1992 al muestreo simultáneo de 39 puntos (manantiales, pozos y sondeos). En la **Tabla I** se presentan los resultados analíticos correspondientes a este último muestreo.

Hidrogeología

En el acuífero de Baza-Caniles se diferencian dos sistemas en función tanto de sus características litológicas como de su comportamiento hidrogeológico: acuífero detrítico mio-plioceno y acuífero cuaternario (Delgado-Pastor et al., 1988; Cruz-Sanjulián et al., 1991). El acuífero mio-plioceno está constituido por los materiales de edad Tortonense y la Formación Guadix. Alcanza su potencia máxima en el sector meridional de la cuenca (500 metros de espesor), potencia que disminuye hacia los bordes de la depresión y el límite con la Formación Baza. El acuífero cuaternario corresponde a las terrazas aluviales y a los rellenos de los cauces actuales y presenta una morfo-

logía tabular, con una potencia media en torno a 20 metros. Se sitúa tanto sobre la Formación Guadix, con la que presenta evidente conexión hidráulica, como sobre la Formación Baza.

El límite S del sistema acuífero está constituido por micasquistos del Complejo Nevado-Filábride, que deben configurar también buena parte del sustrato impermeable de la depresión. Los límites E y W corresponden a formaciones carbonatadas y metapelíticas del Complejo Alpujarride, que configuran los relieves de la Sierra de Baza y Sierra de las Estancias. Estas formaciones están hidráulicamente interconectadas, de modo que las unidades carbonatadas alpujarrides descargan subterráneamente hacia el acuífero detrítico mio-plioceno. Este último limita hacia el centro de la depresión con los materiales impermeables de la Formación Baza y con las terrazas cuaternarias, hacia las que drena en parte (**Figura 1**).

El flujo subterráneo se produce en un sentido predominante SN para el conjunto de la depresión, aunque con tendencia SW-NE en el sector occidental y SE-NW en el oriental. En los materiales de la Formación Guadix se obtiene un gradiente hidráulico medio de 4 ‰; los niveles detríticos presentan un carácter permeable, con transmisividades comprendidas entre 170 y 300 m²/día en los conglomerados y entre 900 y 1.700 m²/día en las arenas (I.G.M.E., 1988). En el acuífero cuaternario se estima un valor para el gradiente hidráulico entre 2,5 ‰ y 1,4 ‰, decreciente en el sentido del flujo.

Dentro de este esquema general, hay que señalar que la geometría del acuífero mio-plioceno es en detalle bastante compleja, dado que el origen de tales materiales está ligado al desarrollo de varias fases sucesivas de abanicos aluviales, afectados, además, por procesos de tectónica reciente; ésto da lugar a importantes variaciones en el espesor del acuífero y en la granulometría de los sedimentos. Así, el acuífero mio-plioceno queda confinado en algunos sectores bajo sedimentos de grano fino depositados en zonas distales de los abanicos, lo que justifica que algunos sondeos, incluso de poca profundidad, sean surgentes. Hacia el centro de la depresión son los materiales de la Formación Baza los que constituyen un potente techo impermeable sobre los materiales tortonienses del acuífero mio-plioceno.

Nº	Toponimia	Temp Tipo	°C	pH	Cond. µS/cm	Concentración, mg/l														
						O ₂ dis.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Sr ²⁺	F ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁺
1	Siete Fuentes	m	13.6	7.9	424	9.1	52	24	5	1	7	229	30	5	0.6	0.4	6	<0.006	0.02	<0.01
2	San Juan	m	14.4	7.5	677	6.4	84	37	4	1	10	267	132	6	1.8	0.8	5	<0.006	<0.02	<0.01
3	Atalaya	s	15.8	7.5	616	8.1	85	39	6	1	9	267	145	6	1.4	0.5	7	<0.006	0.03	<0.01
4	Acrevite	m	15.7	7.2	1904	2.1	282	82	82	18	135	336	835	17	5.5	1.3	4	<0.006	0.32	0.07
5	Olmos	m	18.1	8.3	615	8.2	75	21	15	2	14	191	143	13	0.9	0.2	2	<0.006	<0.02	0.04
6	Mincal	s	15.2	7.4	2180	5.7	93	88	296	14	383	191	579	13	1.3	--	9	<0.006	0.24	<0.01
7	D. Salas	a	15.4	7.5	414	--	64	14	14	1	23	168	91	14	0.5	0.1	11	<0.006	0.24	<0.01
8	Sebastián	a	15.4	7.7	435	8.0	64	17	15	2	23	191	84	12	0.5	0.1	5	--	0.03	<0.01
9	S. Batán	a	19.8	7.9	2980	1.5	400	242	151	43	369	76	1796	12	13.1	0.4	0.5	<0.006	4.00	<0.01
10	Maneta	s	13.8	7.6	515	8.3	72	26	11	1	20	214	116	10	0.6	--	7	<0.006	0.04	<0.01
11	F. Gibraltar	m	13.3	7.4	720	7.4	76	25	22	1	40	153	166	14	0.3	0.2	5	<0.006	<0.02	<0.01
12	A. Gibraltar	m	18.2	8.5	675	7.8	73	26	22	1	40	153	149	13	0.2	0.2	12	<0.006	0.04	<0.01
13	Pulpite	m	15.7	7.3	1261	7.7	127	61	93	1	204	275	167	13	1.2	0.1	45	--	<0.02	0.01
14	Hinojora Baja	p	13.1	7.9	622	7.1	36	45	16	2	25	282	23	9	0.3	0.3	44	--	<0.02	<0.01
15	Ch. Higuera	a	19.2	7.4	1777	1.2	278	94	48	7	71	229	901	24	11.0	2.8	2	0.02	<0.02	0.04
16	Nicolases	m	15.1	7.9	1986	8.0	302	101	99	6	114	252	974	21	11.2	2.7	5	<0.006	<0.02	0.01
17	F. Altichuela	m	15.2	7.7	487	2.4	56	21	14	1	28	214	51	16	0.5	0.3	1	<0.006	0.02	<0.01
18	S. Altichuela	a	17.3	7.8	795	1.7	70	45	34	1	34	175	238	21	0.9	0.3	2	<0.006	0.04	<0.01
19	F. Grande	m	14.1	7.5	725	5.6	96	50	7	1	11	320	169	7	2.2	1.7	8	<0.006	0.07	<0.01
20	S. Grande	s	15.9	7.7	773	5.4	99	46	7	1	13	320	178	7	2.4	1.6	11	<0.006	0.06	<0.01
21	La Sima	m	16.4	7.4	663	--	72	51	16	2	20	320	140	9	1.3	1.0	4	<0.006	0.05	<0.01
22	F. Pardo	a	15.8	7.3	902	--	100	59	11	2	28	320	205	10	2.4	1.4	9	--	0.03	<0.01
23	Mandújar	a	16.1	7.3	809	5.7	93	64	13	2	20	320	217	11	2.4	1.5	8	<0.006	0.05	<0.01
24	P. Mandújar	a	16.1	7.4	683	5.8	75	48	15	2	24	320	134	10	1.7	1.2	18	<0.006	0.30	<0.01
26	Ibiza	m	15.8	7.3	2190	7.2	129	100	224	10	315	198	610	15	1.2	0.1	5	<0.006	<0.02	0.06
28	La Cerrada	s	34.7	7.0	2040	--	273	80	73	8	88	229	936	31	7.6	2.9	--	--	--	--
29	PiscinaMunic	p	14.4	7.1	1348	--	168	82	72	9	85	458	364	13	5.1	0.9	74	0.03	<0.01	<0.01
30	Castradores	p	15.5	7.3	940	7.7	102	59	15	1	23	412	138	9	1.9	0.7	26	--	<0.02	<0.01
31	Vidales	m	14.5	7.8	1737	9.1	171	111	98	3	163	419	466	18	7.0	0.9	21	0.03	<0.02	<0.01
32	Aurora	p	14.2	7.4	828	8.2	64	77	17	1	28	435	97	18	--	--	12	0.01	<0.02	<0.01
33	Colonia	p	12.5	7.2	2780	7.9	512	322	25	7	57	351	2474	63	11.8	1.5	30	<0.006	0.26	0.01
34	Ventica	p	15.2	7.3	1069	7.6	109	96	22	1	46	358	306	10	2.7	0.8	30	<0.006	<0.02	<0.01
35	Legua	p	16.5	7.2	4120	8.1	609	375	112	15	189	275	2641	31	12.1	3.1	31	<0.006	<0.02	<0.01
36	Canteras	p	15.5	7.2	4080	7.7	480	300	172	18	291	275	2142	35	11.2	4.4	3	<0.006	0.25	--
37	Angulo	p	16.7	7.5	3170	8.3	477	220	103	13	227	259	1745	58	12.0	3.2	3	<0.006	<0.02	--
38	Q. Alegre	s	17.2	7.4	1712	--	128	--	--	8	--	389	723	62	--	--	5	<0.006	<0.02	<0.01
39	Burgos	a	13.0	7.4	2420	--	404	152	105	8	149	343	1483	--	--	--	--	<0.006	<0.02	<0.01
40	Mazarra	m	15.1	7.2	2940	8.1	640	217	132	13	159	190	2100	--	--	--	--	<0.006	<0.02	<0.01
41	AguaParra	m	15.0	7.6	2020	7.8	436	122	75	9	102	198	1264	--	8.8	2.9	2	<0.006	<0.02	<0.01

Tipo: m, manantial; p, pozo; s, sondeo; a, sondeo surgente.

Tabla 1. Resultados analíticos obtenidos en las aguas subterráneas de la depresión de Baza.

El análisis del contenido en isótopos estables (oxígeno 18 y deuterio) de las aguas subterráneas de la depresión de Baza confirma que la mayor parte de la alimentación del acuífero detrítico corresponde a la recarga lateral subterránea procedente de la Sierra de Baza y Sierra de las Estancias, y permite identificar la existencia de diferentes mecanismos de infiltración en ambos sectores; mientras que en el sector occidental ésta debe desarrollarse de forma bastante rápida sobre los materiales carbonatados, en las estribaciones de la Sierra de las Estancias (sector oriental) tienen lugar procesos de evaporación previos a la infiltración (Hidalgo et al., 1991).

Los datos isotópicos también han permitido establecer que la recarga efectiva de los acuíferos en el área estudiada se debe principalmente a las lluvias de otoño e invierno. Estas corresponden generalmente a precipitaciones de origen atlántico, con valores de exceso de deuterio próximos a + 10 ‰, equivalentes a los encontrados en las aguas subterráneas de la depresión (Cruz-Sanjulián et al., 1992).

Facies hidroquímicas

Las aguas subterráneas de la depresión de Baza presentan una amplia variedad de facies hidroquímicas. En el sector occidental del acuífero mioceno, los bordes están constituidos por materiales carbonatados; como consecuencia de la recarga lateral procedente de estos últimos, el agua presenta una facies predominantemente bicarbonatada cálcico-magnésica. Hacia el sur, domina la facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, representativa del quimismo de la recarga procedente del borde nevado-filábride. De forma local, y en relación con algunos afloramientos de conglomerados, arenas y limos de origen marino, aparecen facies mixtas sulfatadas-cloruradas y bicarbonatadas-cloruradas (Figura 1). En el sector oriental, las aguas presentan, en general, facies sulfatada cálcico-magnésica, claramente condicionada por la disolución de las evaporitas del Plioceno.

Al considerar las aguas del acuífero cuaternario, se observa que las facies bicarbonatadas cálcico-magnésica

y magnésico-cálcica, presentes en los sectores más próximos a los afloramientos de la Formación Guadix, evolucionan hacia el E y N a facies sulfatada-bicarbonatada y sulfatada. Esta distribución de facies está influenciada no sólo por la relación con el límite de margas y yesos pliocenos sino también por la reutilización del agua del acuífero e incluso por el empleo de aguas residuales para riego (Hidalgo et al., 1992).

En las aguas relacionadas con la Formación Baza domina la facies sulfatada cálcico-magnésica, como consecuencia de la disolución de los materiales evaporíticos presentes en la misma. Existen también algunos sondeos surgentes que explotan el acuífero mio-plioceno confinado bajo las evaporitas: en estos casos, el agua se caracteriza, además, por un fuerte olor a sulfhídrico y contenido muy bajo en oxígeno disuelto.

De forma general, se observa un incremento progresivo del grado de mineralización del agua en el sentido del flujo, aunque los valores máximos (superiores a 4 g/l de TDS, Figura 2a)

corresponden a aquellas aguas afectadas por la disolución de materiales evaporíticos. Los iones sulfato, calcio, bicarbonato y nitrato son los más abundantes en el área estudiada. Los valores más altos de pH aparecen en los bordes de la depresión y decrecen ligeramente hacia el centro de la misma (Figura 2b), aunque resultan siempre superiores a 7. El contenido en ión bicarbonato, sin embargo, aumenta con la distancia al borde del acuífero mio-plioceno, con valores máximos en las aguas del acuífero cuaternario (Figura 2c).

Los resultados obtenidos para los compuestos nitrogenados presentes en el agua subterránea muestran un incremento generalizado del contenido del ión nitrato en el sentido del flujo; este proceso está relacionado con el desarrollo de las prácticas agrícolas y con la reutilización para riego de los efluentes urbanos, práctica frecuente sobre las terrazas aluviales del Cuaternario, donde se superan 70 mg/l de NO_3^- (Figura 2d). El ión nitrito también se detecta de forma puntual en algunos pozos del acuífero cuaternario, donde se considera indicativo de contaminación fecal reciente, debida a la infiltración de las aguas residuales.

En los sectores más permeables del acuífero cuaternario se ha detectado la presencia de plaguicidas en las aguas subterráneas, tanto organoclorados como organofosforados (Hidalgo, 1993). Aunque el estado actual de contaminación por plaguicidas no puede considerarse alarmante, dada la baja concentración en que aparecen, su presencia resulta en cualquier caso indeseable y sería conveniente controlar la respuesta del sistema en diferentes épocas del año.

Evolución química y equilibrios minerales

Con objeto de elucidar los procesos que condicionan la evolución espacial del quimismo de las aguas, se ha procedido al estudio de aquellas relaciones iónicas y equilibrios minerales más significativos.

Relaciones entre sulfato, calcio, magnesio y bicarbonato

Al analizar la relación calcio/sulfatos, se observa que las aguas ligadas al acuífero mio-plioceno presentan, en

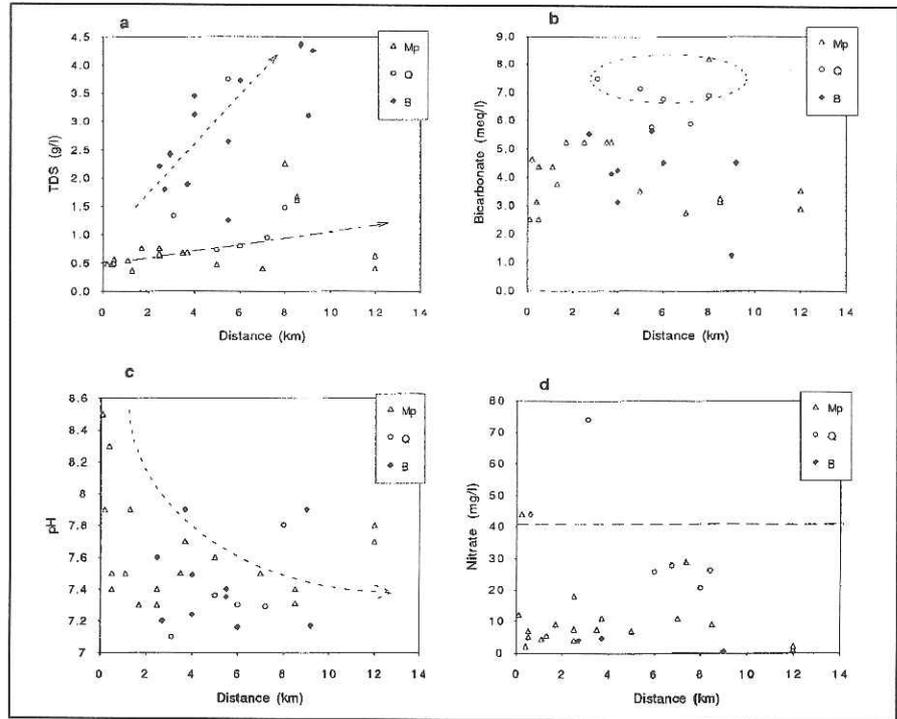


Fig. 2. Evolución espacial de ciertos parámetros físico-químicos en el sistema acuífero de Baza-Caniles. a) TDS (total de sólidos disueltos); b) ión bicarbonato; c) pH y d) ión nitrato. Leyenda: Mp, Mio-plioceno; Q, Cuaternario; B, Formación Baza.

general, un contenido en calcio ligeramente superior al de sulfatos (Figura 3). Sin embargo, cuando el agua entra en contacto con la Formación Baza muestra un déficit de calcio respecto a estos últimos; esta pérdida debe ser el resultado de un proceso de precipitación de calcita como consecuencia de la adición del ión común calcio procedente de la disolución de yeso a un

agua que estaba saturada tanto en calcita como dolomita.

La precipitación de la calcita supone también una retirada de iones bicarbonato de la disolución, por lo que el agua tiende a compensar este desequilibrio disolviendo más carbonatos. Dado que en los materiales del relleno de la depresión existen calcita y dolomita, tenderá a producirse de forma preferen-

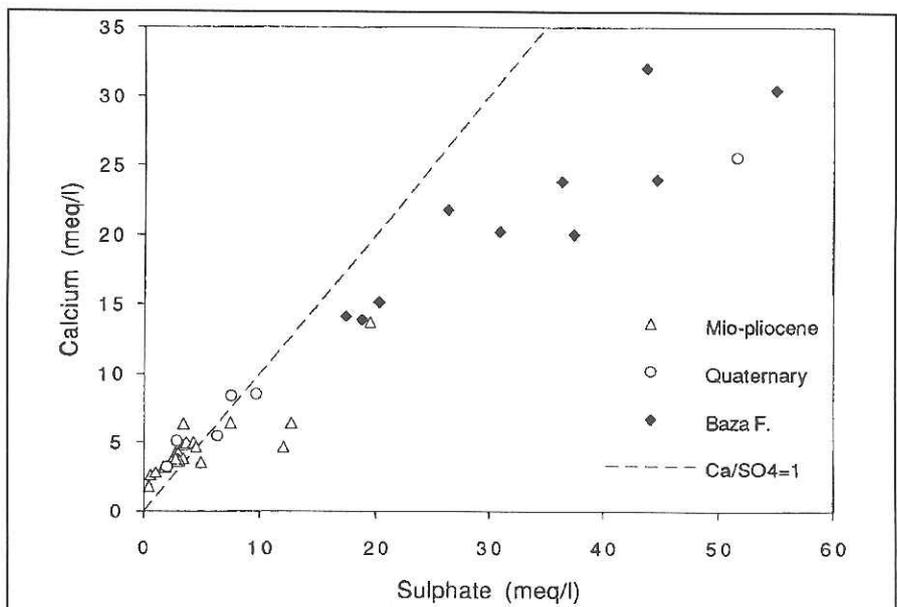


Fig. 3. Relación entre el contenido en sulfato y calcio en las aguas subterráneas de la depresión de Baza.

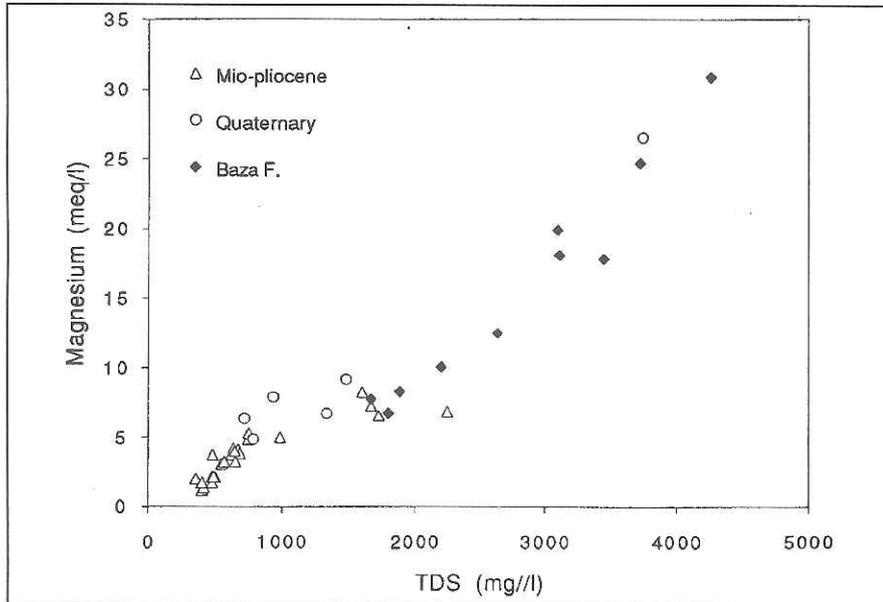


Fig. 4. Concentración del ión magnesio versus TDS (Total de sólidos disueltos) en las aguas subterráneas de la depresión de Baza.

te la disolución de esta última. De este modo, se incrementa el contenido en magnesio del agua a medida que progresa la disolución de yeso (Figura 4).

Este proceso queda bien caracterizado si se considera, además, la evolución que experimenta la relación magnesio/calcio: dicha relación debe aumentar en el sentido del flujo, dado que el calcio que se retira de la disolución es reemplazado por magnesio. En la Figura 5 puede verse cómo el índice Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/meq) crece rápidamente con el grado de mineralización, tanto en el acuífero mio-plioceno como cuaternario. Aunque en las aguas ligadas a la Formación Baza el valor absoluto de esta relación es algo menor, debido a la importancia que adquiere la disolución de yeso, también se produce un incremento relativo del contenido en magnesio.

En el gráfico de relación entre bicarbonatos y sulfatos de la Figura 6 se aprecia un ascenso significativo del contenido en bicarbonatos en las aguas del acuífero cuaternario respecto a las del acuífero mio-plioceno. Dado que la solubilidad de la calcita aumenta con el contenido en CO_2 , se ha relacionado el mayor contenido en bicarbonatos en el acuífero cuaternario con un incremento de la presión parcial de CO_2 del suelo, consecuencia de las prácticas agrícolas desarrolladas en este sector. Una vez que el agua entra en contacto con la Formación Baza, el equilibrio entre precipitación-disolución de calcita-dolomita da lugar a una ligera disminu-

Los caudales más importantes se han obtenido en las áreas topográficamente más bajas de la depresión, pero el agua extraída presenta una alta salinidad.

ción del contenido en bicarbonatos, con una mayor dispersión de los valores (Figura 6).

Por otra parte, si se sustrae una cantidad de Ca^{2+} equivalente a la de SO_4^{2-} procedente de la disolución de yeso ($Ca^{2+} + Mg^{2+} - SO_4^{2-}$), la relación entre este índice y el contenido en bicarbonatos describe una recta de pendiente 1:1, característica de disolución de calcita-dolomita (Figura 7). Sin embargo, tanto en algunos puntos del acuífero mio-plioceno como en buena parte de las aguas relacionadas con la Formación Baza, tal relación puede tomar valores desde 0,4 a 2, por lo que cabe pensar que los procesos de alteración de minerales laminares deben jugar también un papel importante sobre el quimismo de este último grupo de aguas.

Relación cloruro-sodio

Esta relación ha sido utilizada frecuentemente como trazador de las zonas de recarga y de los mecanismos de adquisición de salinidad en zonas semiáridas (Magaritz et al., 1981). Valores superiores a 1 en la relación Na^+/Cl^- (meq/meq) son característicos de procesos de interacción con minerales de la arcilla, en tanto que un enriquecimiento paralelo de ambos iones indica disolución de sales cloruradas o procesos de reconcentración por evaporación (Thomas et al., 1989). Estos dos últimos mecanismos son los que aparecen de forma dominante en las aguas estudiadas (Figura 8), con una distri-

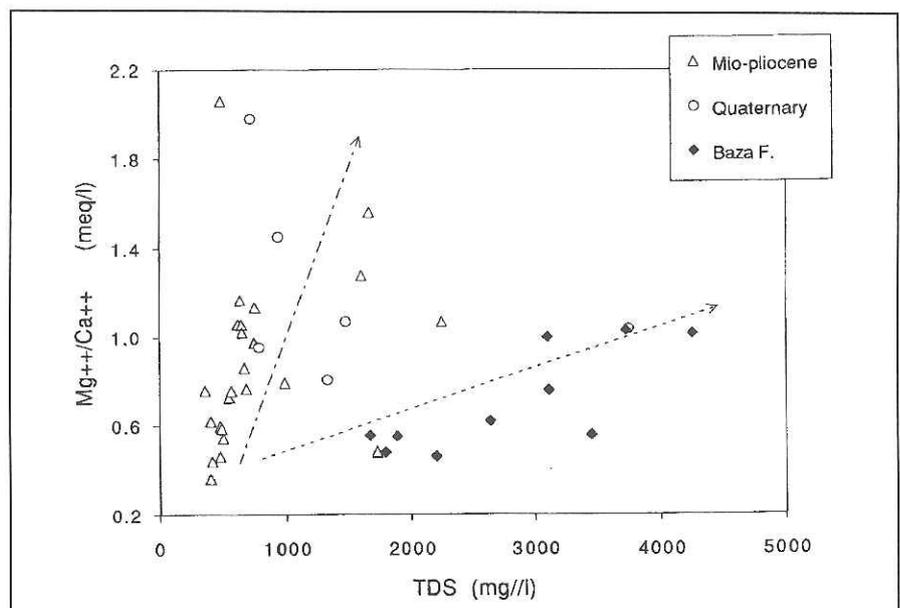


Fig. 5. Relación entre índice Mg/Ca y contenido en sólidos disueltos.

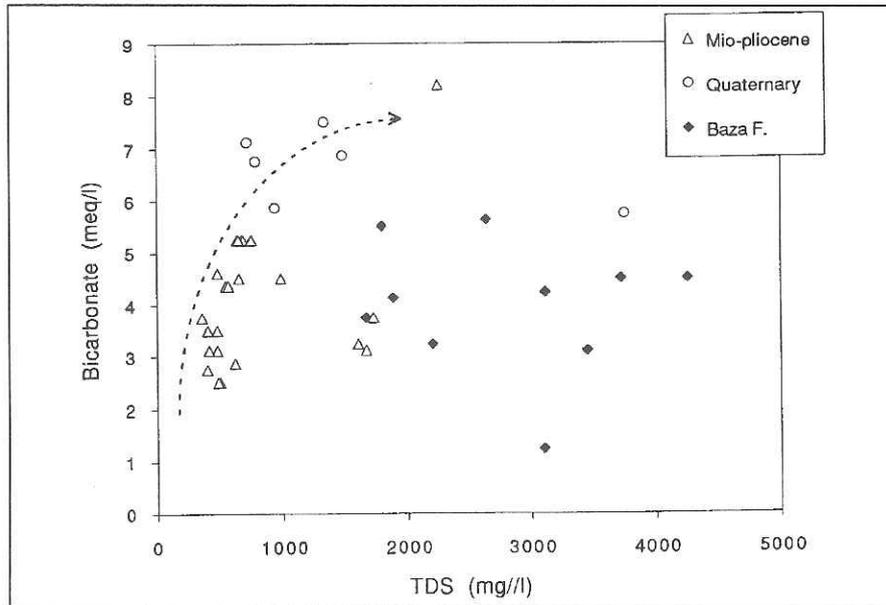


Fig. 6. Relación entre concentración del ión bicarbonatado y contenido en sólidos disueltos.

bución de valores muy próxima a 1 en la mayor parte de los casos.

Los valores que se desvían de esta recta pueden responder no sólo a reacciones de alteración de minerales de la arcilla sino también a mecanismos de intercambio catiónico. En la **Figura 9** se ha considerado la relación Na/Cl frente al índice $(Ca^{2+} + Mg^{2+} - SO_4^{2-})$: aparece un grupo de valores superiores a 1 en la relación Na/Cl, que corresponden además a un déficit en Ca-Mg (cuadrante A, **Figura 9**). Tal situación resulta congruente con un proceso de intercambio catiónico Ca-Na, que conduce a un ablandamiento de las aguas.

La principal premisa es la existencia de una reserva importante de Na^+ intercambiabile, que responde en muchos casos a minerales de la arcilla depositados en un medioambiente marino.

Equilibrios minerales

La relación entre minerales y especies disueltas en el agua puede ser descrita en función del estado de saturación respecto a cada mineral, expresado como índice de saturación, SI. Para $SI > 0$, la solución está sobresaturada respecto al mineral considera-

do (posible precipitación del mismo); $SI < 0$ indica subsaturación (posible disolución de la fase mineral) y $SI = 0$ corresponde al estado de equilibrio entre el mineral y la solución. Mediante la utilización del programa WATEQ4F (Back & Nordstrom, 1991) se han calculado los índices de saturación para un conjunto de minerales seleccionados en función de su importancia en el contexto del acuífero estudiado.

Los gráficos de la **Figura 10** muestran la evolución que sufren los índices de saturación en calcita y yeso; el incremento en el contenido en sulfatos refleja la progresión del proceso de disolución de yeso a medida que el agua se mueve desde el acuífero mio-plioceno hacia los materiales del centro de la depresión. A lo largo de esta secuencia geoquímica, el agua debe evolucionar desde un estado próximo a la saturación en calcita hacia una clara sobresaturación en esta especie química, que conduce a la precipitación de la misma. Una vez que el sistema esté saturado en calcita, el quimismo vendrá condicionado por la disolución de yeso, que será el factor desencadenante del proceso de disolución de dolomita.

Según se observa en la **Figura 10**, las aguas de facies bicarbonatadas, ligadas al acuífero mio-plioceno, se encuentran próximas al equilibrio con la calcita, y muy subsaturadas respecto al yeso, por lo que el sistema tiende a la disolución de este mineral. Como consecuencia de tal proceso, hay un importante aporte de Ca^{2+} y se alcanza una sobresaturación en calcita, que conduce a la precipitación de esta última.

A medida que progresa la disolución de evaporitas, el índice de saturación en yeso tiende a aproximarse al equilibrio, aunque las aguas se mantienen, en general, subsaturadas en este mineral (**Figura 10b**). Sólo en algunas aguas procedentes de pozos excavados en la propia Formación Baza se llega a alcanzar la saturación en yeso.

Balance de masas

Los cálculos de balance de masas determinan las cantidades de ciertos minerales, considerados como productos y reactantes en el sistema, que deben disolverse y/o precipitar entre dos puntos situados a lo largo de una línea de flujo para obtener el quimismo observado en el agua final. Los cálculos se basan en los cambios netos observados en la con-

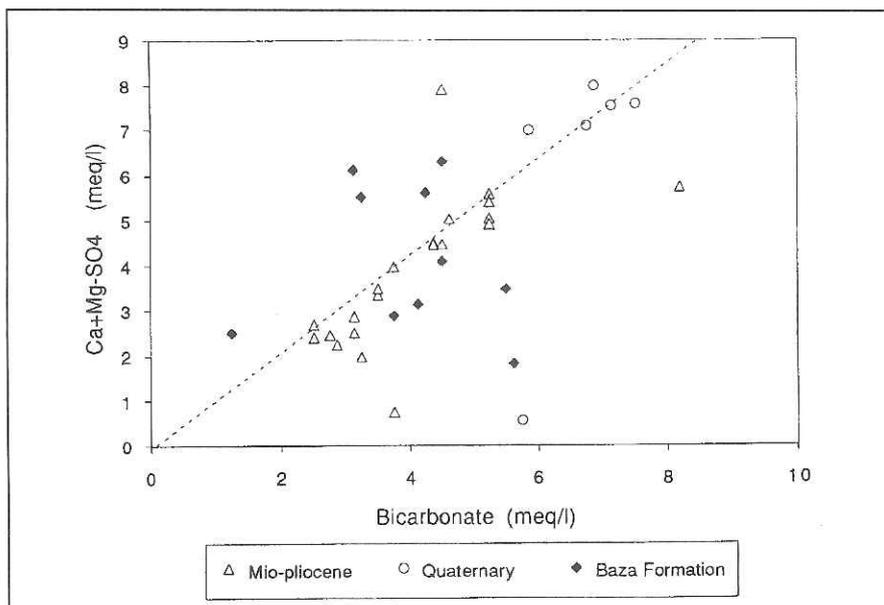


Fig. 7. Índice $(Ca + Mg - SO_4)$ versus contenido en ión bicarbonato.

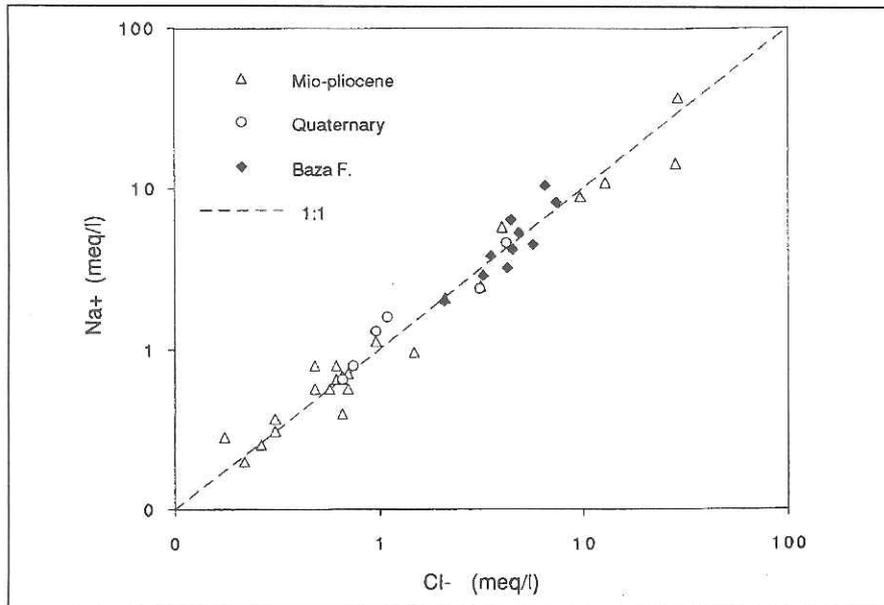


Fig. 8. Relación entre Na y Cl en las aguas subterráneas de la depresión de Baza.

centración total de los elementos y, en el caso de reacciones redox, en el balance de electrones entre los puntos inicial y final (Plummer et al., 1983).

Para evaluar las transferencias de masa en el sistema agua-roca, se han seleccionado tres líneas de flujo representativas de los diferentes contextos hidrogeológicos característicos del acuífero: acuífero libre, acuífero confinado superior y acuífero confinado profundo. Los cálculos de balance de masas han sido realizados mediante la utilización del programa NETPATH (Plummer et al., 1991). Los resultados obtenidos, así como los minerales y/o fases seleccionados en cada caso, se presentan en la **Tabla II**. Los valores positivos indican disolución de las fases, es decir, éstas se incorporan al sistema. Por el contrario, los valores negativos de los coeficientes implican una pérdida por precipitación o degasificación. Para la reacción de intercambio $Ca^{2+}-Na^+$, el signo positivo supone una retirada de calcio de la solución, compensada por un aporte de sodio; un coeficiente negativo implica retirada de sodio y adición de calcio. Se han llevado a cabo diversas simulaciones usando diferentes combinaciones de reacciones y minerales, aunque en todos los casos se han incluido disolución de yeso, dolomita y precipitación/disolución de calcita. Los resultados que se presentan corresponden a aquellas soluciones que se han considerado más adecuadas en función de la composición mineralógica de los sedimentos de la depresión y del quimismo

de las aguas y que resultan coherentes con los estados de saturación previamente obtenidos.

Línea de flujo 1

Los manantiales de Siete Fuentes y San Juan (números 1 y 2, **Tabla I**) constituyen dos de los principales puntos de descarga del sector occidental del acuífero mio-plioceno. Aunque estrictamente no se sitúan sobre la misma línea de flujo, las dos responden a una alimentación subterránea procedente de las formaciones carbonatadas limítrofes, con una facies bicarbonata-

da cálcica. Estos dos puntos se han utilizado para reflejar el efecto producido por la presencia de yeso en el sistema, ya que en las proximidades de San Juan (utilizada en la simulación como agua final) aparecen algunos afloramientos de margas con evaporitas, ausentes sin embargo en el entorno de Siete Fuentes (considerado como quimismo inicial).

Según se aprecia en la **Tabla II.1a**, la entrada de yeso (+ 1,05 mmol/l) produce una disolución incongruente de dolomita, es decir, precipitación de calcita (- 0,85 mmol/l) con disolución de dolomita (+ 0,54 mmol/l). El resto de las fases incluidas permiten justificar las pequeñas variaciones en la concentración de otros iones presentes en el medio, considerando la disolución de 0,08 mmol/l de halita y pequeños aportes de celestina y fluorita.

El tercer punto considerado (número 30, **Tabla I**) representa la progresión del flujo en el seno del acuífero cuaternario: el yeso disponible es mucho más limitado, de modo que tan sólo 0,06 mmol/l llegan a incorporarse a la solución. Sin embargo, la disolución de dolomita se incrementa de forma considerable (+ 0,91 mmol/l), al tiempo que disminuye la proporción de calcita retirada del medio. En este segundo caso, se trata de un sistema abierto al CO_2 , en el que se produce un incremento del mismo (+ 1,46 mmol/l), factor que debe actuar como desencadenante de la disolución de bicarbonatos. Dado que la solución se

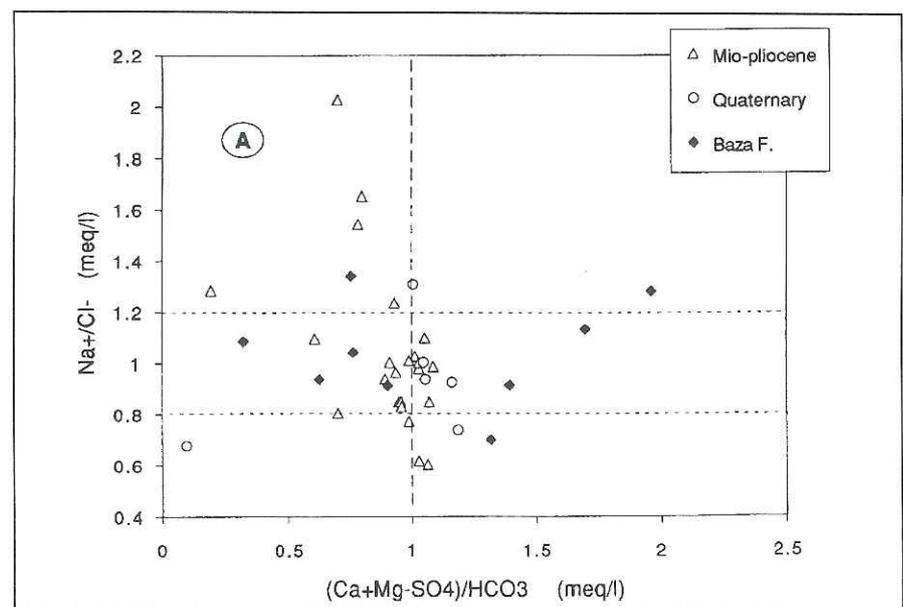


Fig. 9. Relación entre los índices Na^+/Cl^- y $(Ca + Mg - SO_4)/HCO_3^-$.

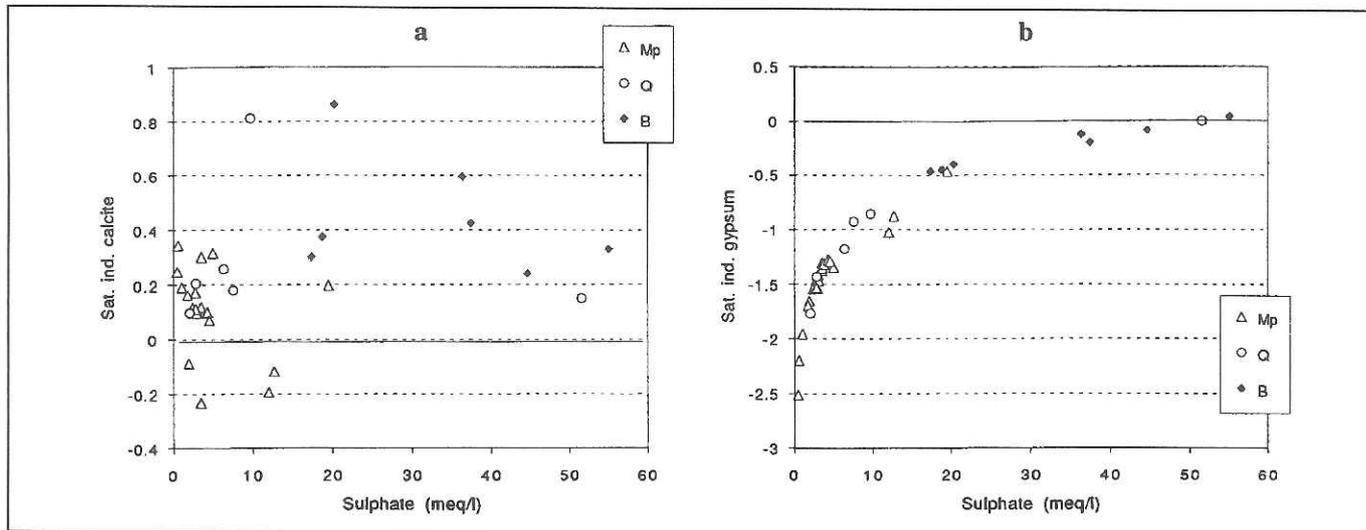


Fig. 10. Índices de saturación de las aguas subterráneas del sistema acuífero Baza-Caniles: a) calcita; b) yeso. Leyenda: Mp, Mio-plioceno; Q, Cuaternario; B, Formación Baza.

encontraba previamente saturada en calcita, el sistema evoluciona de nuevo hacia la disolución de dolomita.

Línea de flujo 2

El manantial de Los Olmos (número 5, **Tabla I**) se localiza en el límite sur del acuífero y el quimismo de sus aguas se considera característico de la alimentación procedente del borde nevado-filábride. Hacia el centro de la cuenca, el acuífero queda confinado bajo limos y limos-margosos, como en el sondeo surgente de La Altichuela (número 18, **Tabla I**), o bien puede dar lugar localmente a la aparición de facies cloruradas, como en el sondeo de Mincal (número 6). Aunque no se dispone de datos analíticos referidos a las especies del S^{2-} , en este último caso se aprecia olor a sulfhídrico, por lo que se han incluido procesos redox en las ecuaciones del balance de masas. Otro tanto se ha hecho en el caso de La Altichuela, ya que el contenido en O_2 disuelto de estas aguas se encuentra muy por debajo del valor medio característico del acuífero en sectores no confinados. También en los dos casos se ha incluido una reacción de intercambio $Ca^{2+}-Na^+$, dado que el contenido en esta última especie no puede ser justificado si se considera solamente un proceso de disolución de halita (**Tabla II.2**).

La solución obtenida para la línea de flujo Olmos-Altichuela (**Tabla II.2a**) incluye la disolución de 0,99 mmol/l de yeso y 0,56 mmol/l de halita, precipitación de 1,87 mmol/l de cal-

cita y disolución de 0,99 mmol/l de dolomita. El intercambio $Ca^{2+}-Na^+$ aporta 0,13 mmol/l de sodio a la solución. En este sistema, cerrado al CO_2 atmosférico, hay además una pérdida de O_2 en fase gaseosa.

En el caso de las facies cloruradas (**Tabla II.2b**) resulta evidente el papel preponderante de la reacción de disolución de halita (+ 10,42 mmol/l). Dado que se aprecia un incremento tanto en Sr^{2+} como en K^+ respecto a la composición de partida, se han incluido también en el modelo la celestina y la ilita, al estar citada su presencia en los materiales del acuífero (Sebastián-Pardo et al., op. cit.). De nuevo, el aporte de 4,51 mmol/l de yeso conduce a la precipitación de calcita y disolución de dolomita. La solución obtenida implica también una pérdida de oxígeno y un ligero incremento de la presión de CO_2 . Dado que se considera el sistema cerrado al CO_2 atmosférico, para justificar este resultado hay que encontrar otro mecanismo que conduzca a un enriquecimiento en CO_2 . Estas aguas presentan olor a sulfhídrico, por lo que cabría considerar la reacción de reducción de sulfatos, con liberación de CO_2 , lo que implicaría un origen orgánico del mismo:



Línea de flujo 3

En este caso, se han analizado las reacciones involucradas en el desarrollo del quimismo de las aguas

pertenecientes al sector central del acuífero, confinado al menos por 200 metros de margas y limos con yesos. Las aguas del sondeo Sebastián (número 8, **Tabla I**) representan la composición «tipo» del sector confinado poco profundo del acuífero detrítico en la zona considerada (agua inicial en la línea de flujo simulada), en tanto que el sondeo surgente Batán (número 9, **Tabla I**) aporta la información sobre las especies químicas presentes en las aguas del sector confinado profundo.

Los resultados obtenidos para el balance de masas aparecen en la **Tabla II.3**. Se han considerado las mismas fases que en el ejemplo 2b, más el amonio, ya que el contenido en este ión en las aguas del sondeo n.º 9 es el más alto alcanzado en la depresión. Al mismo tiempo, este agua tiene un contenido en nitratos muy inferior al rango característico del agua del acuífero mio-plioceno. Dado que el agua presenta un fuerte olor a sulfhídrico, cabe pensar en un proceso de reducción de nitratos como origen de este alto contenido en amonio.

Conclusiones

Según se deduce de las relaciones existentes entre las diferentes especies químicas y fases minerales, las hidrofacies presentes en esta cuenca semiárida responden a dos procesos geoquímicos principales. El primero de ellos se refiere al equilibrio con los minerales carbonatados, en tanto

LINEA DE FLUJO 1	
1a	1b
<i>S. Fuentes ---> San Juan</i>	<i>San Juan -> Castradores</i>
mmol/l	mmol/l
Calcita	-0.85
Yeso	1.05
Dolomita	0.54
Halita	0.08
Celestina	0.014
CO2 (g)	0.62
Ca<-->Na	-0.06
Fluorita	0.01
Calcita	-0.46
Yeso	0.06
Dolomita	0.91
Halita	0.37
Celestina	0.001
CO2 (g)	1.46
Ca<-->Na	0.06
LINEA DE FLUJO 2	
2a	2b
<i>Los Olmos ---> S. Altichuela</i>	<i>Los Olmos ---> Mincal</i>
mmol/l	mmol/l
Calcita	-2.0
Yeso	1.0
Dolomita	1.0
Halita	0.6
CO2 (g)	-0.2
O2 (g)	-0.2
Ca<-->Na	0.1
Calcita	-5.82
Yeso	4.54
Dolomita	2.63
Halita	10.43
CO2 (g)	0.8
O2 (g)	-0.08
Ca<-->Na	0.91
Ilita	0.5
Celestina	0.01
LINEA DE FLUJO 3	
<i>Sebastián ---> Sondeo Batán</i>	
	mmol/l
Calcita	-18.3
Yeso	17.7
Dolomita	8.9
Halita	5.94
O2 (g)	-0.59
CO2 (g)	-1.4
NH4/Caex	-0.13
Ilita	0.14
Celestina	0.01
Fluorita	1.8

Tabla II. Resultados obtenidos en los cálculos de balance de masas.

En función del proceso predominante, se puede considerar una zonación geoquímica del sistema acuífero de Baza-Caniles, representada de forma esquemática en la **Figura 11**. Se han diferenciado tres zonas geoquímicas:

1. Acuífero libre mio-plioceno y acuífero cuaternario (**figura 11a**): hidrofacies bicarbonatadas cálcica y cálcico-magnésica, asociadas a procesos de precipitación de calcita y disolución de dolomita (disolución incongruente de dolomita). Localmente, el aumento en la presión parcial de CO₂ favorece la disolución de carbonatos y conduce a la aparición de facies bicarbonatadas magnésicas.

2. Acuífero confinado superior (**Figura 11b, 5 y 6**): zona de disolución de dolomita, sulfatos y/o halita, en medio ligeramente reductor. En el sector meridional de la depresión de Baza se desarrollan facies hidroquímicas sulfatada-bicarbonatada magnésico-cálcica y sulfatada-clorurada sódico-magnésica como consecuencia, fundamentalmente, de la disolución de sales presentes en los materiales del Tortoniense.

3. Acuífero confinado profundo (**Figura 11b.7**): ambiente reductor, caracterizado por la disolución de sulfatos y halita y la existencia de procesos de reducción de sulfatos y nitratos. Las aguas procedentes de esta zona presentan hidrofacies sulfatada cálcico-magnésica, con un elevado contenido salino.

La mayor parte de los cultivos tradicionales se abastecen de aguas que presentan una buena calidad para riego, procedentes de los sectores libres y confinado superior del acuífero mio-plioceno. En la actualidad, se utilizan en menor medida las aguas del sector confinado profundo del acuífero mio-plioceno, cuya hidrofacies, influenciada por procesos de disolución de materiales evaporíticos, implica un riesgo de salinización del suelo. Sin embargo, la puesta en regadío de nuevas superficies al N de Baza podría provocar la aparición de problemas de salinización, tanto por la calidad del agua a emplear como por las características de los suelos sobre los que se asentarán los futuros cultivos. De cara a prevenir tales efectos, sería recomendable optimizar las prácticas agrícolas (drenaje eficaz del terreno, adiciones de materia orgánica, etc.) con objeto de minimizar

que el segundo se relaciona fundamentalmente con la disolución de minerales evaporíticos. Los procesos de reducción también pueden jugar un

papel significativo sobre el quimismo de las aguas procedentes de los sectores confinados del acuífero mio-plioceno.

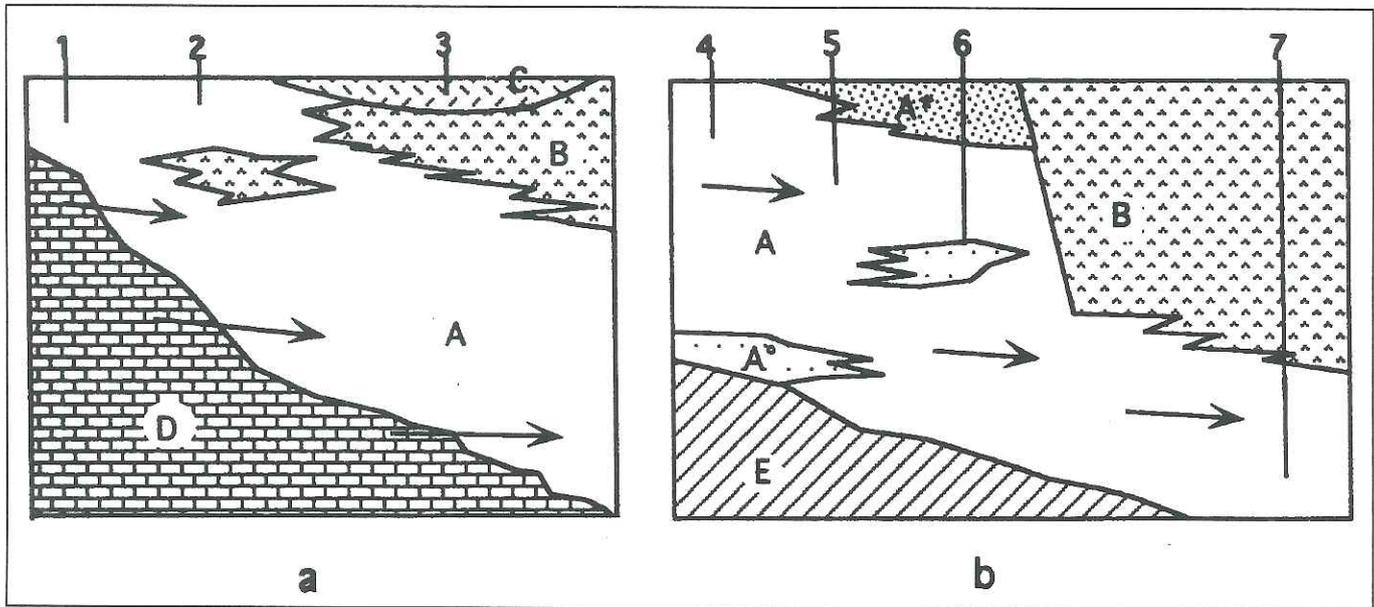


Fig. 11. Distribución esquemática de zonas geoquímicas. a) Sector occidental: acuifero libre con procesos de precipitación de calcita y disolución de dolomita; incremento de la presión parcial de CO₂ en el caso del acuifero cuaternario (1, facies bicarbonatada cálcica; 2, facies bicarbonatada cálcico-magnésica; 3, facies bicarbonatada magnética). b) Sector meridional: 4, acuifero libre mio-plioceno, facies bicarbonatada calcio-magnésica; 5 y 6, acuifero confinado superior, zona de disolución de dolomita, sulfatos y/o halita, en medio ligeramente reductor (5, facies sulfatada-bicarbonatada magnésico-cálcica; 6, facies sulfatada-clorurada sódico-magnésica); 7, facies sulfatada cálcico-magnésica, acuifero confinado profundo: agua de alta salinidad, en medio reductor, caracterizado por la disolución de sulfatos y halita y la existencia de procesos de reducción de sulfatos y nitratos. A, acuifero mio-plioceno; A*, sedimentos tortonienses de origen marino; A*, sedimentos de grano fino; B, Formación Baza; C, acuifero cuaternario; D, sustrato alpujárride; E, sustrato nevado-filábride.

el desarrollo de procesos irreversibles de alcalinización y salinización del suelo.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con financiación parcial del Proyecto de la Comisión de Investigación Científica y Técnica (CICYT) n.º AMB93-0932. ■

Referencias

- BACK, J. W. and NORDSTROM, D. K. (1991): User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace and redox elements in natural waters. Open-File Report 91-183, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- CHAPELLE, F. H. and McMAHON, P. B. (1991): Geochemistry of dissolved inorganic carbon in a Coastal Plain aquifer. 1. Sulfate from confining beds as an oxidant in microbial CO₂ production. *J. Hydrol.* 127, 85-108.
- CRUZ-SANJULIAN, J.; ARAGUAS, L.; ROZANSKI, K.; BENAVENTE, J.; RODENAL, F. J.; HIDALGO, M. C.; GARCIA-LOPEZ, S.; MARTINEZ-GARRIDO, J. C.; MORAL, F. and OLIAS, M. (1992): Sources of precipitation over South-Eastern Spain and groundwater recharge. An isotopic study. *Tellus* 44B, 226-236.
- CRUZ-SANJULIAN, J.; BENAVENTE, J. and CASTILLO-MARTIN, A. (1990): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Granada. Ed. Excma. Diputación Provincial de Granada.
- DELGADO-PASTOR, J.; CASTILLO-PEREZ, E. I. and RUBIO-CAMPOS, J. C. (1989): Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del acuifero detrítico de Baza-Caniles. III Congreso de Geoquímica de España, Soria, VI, 29-41.
- DIXON, W. and CHISWELL, B. (1992): The use of hydrochemical sections to identify recharge areas and saline intrusions in alluvial aquifers, southeast Queensland, Australia. *J. Hydrol.* 130, 299-338.
- GOY, J. L.; ZAZO, C.; DABRIO, C. J.; HOYOS, M. and CIVIS, J. (1989): Geomorfología y evolución dinámica del sector suroccidental de la Cuenca de Guadix-Baza (área de Caniles). En M. T. Alberdi and F. Bonadonna (eds.): *Geología y Paleontología de la Cuenca de Guadix-Baza*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, C.S.I.C., Madrid, 97-109.
- GUERRA-MERCHAN, A. (1992): Origen y relleno sedimentario de la cuenca neógena del corredor del Almanzora y áreas limítrofes (Cordillera Bética). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 385 pp. (inédita).
- HIDALGO, M. C. (1993): Estudio hidroquímico del acuifero de Baza-Caniles (Provincia de Granada). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 331 pp. (inédita).
- HIDALGO, M. C.; CRUZ-SANJULIAN, J. and BENAVENTE, J. (1992): Factores condicionantes de las características físico-químicas de las aguas subterráneas de la Depresión de Baza (Granada). En *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XVI, 35-48.
- HIDALGO, M. C.; CRUZ-SANJULIAN, J.; BENAVENTE, J. and ARAGUAS, L. (1991): Contribución de la investigación isotópica al conocimiento hidrogeológico de la Depresión de Baza (Granada). III Simposio sobre el agua en Andalucía, Córdoba, I, 427-436.
- MAGARITZ, M.; NADLER, A.; KOYUMD-
- JISKY, H. and DAN, N. (1981): The use of Na/Cl ratios to trace solute sources in a semi-arid zone. *Water Resour. Res.* 17, 602-608.
- LOPEZ-GETA, J. A.; RUBIO-CAMPOS, J. C.; DELGADO-PASTOR, J. and URBANO-JIMENEZ, F. (1990): Resources of the aquifer system Baza-Caniles. Prospects for improved use of groundwater in the head of the Guadiana Menor Basin. International Symposium on Groundwater Management: Quantity and Quality. Benidorm.
- PEÑA, J. A. (1985): La depresión de Guadix-Baza. *Estudios Geol.* 41, 33-46.
- PLUMMER, L. N.; PARKHURST, D. L. and THORSTENSON, D. C. (1983): Development of reaction models for groundwater systems. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 665-686.
- PLUMMER, L. N.; PRESTEMON, E. C. and PARKHURST, D. L. (1991): An interactive code (NETPATH) for modeling NET geochemical reactions along a flow PATH. Water-Resource Investigations Report 91-4078, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- SALAMA, R. B.; FARRINGTON, P.; BARTLE, G. A. and WATSON, G. D. (1993): The chemical evolution of groundwater in a first-order catchment and the process of salt accumulation in the soil profile. *J. Hydrol.* 143, 223-258.
- SAMI, K. (1992): Recharge mechanisms and geochemical processes in a semi-arid sedimentary basin, Eastern Cape, South Africa. *J. Hydrol.* 139, 27-48.
- THOMAS, J. M.; WELCH, A. H. and PREISSLER, A. M. (1989): Geochemical evolution of groundwater in Smith Creek Valley - a hydrologically closed basin in central Nevada, U.S.A. *Appl. Geochem.*, 4, 493-510.
- VERA, J. A. (1970): Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza. *Bol. Geol. Min.* 81, 429-462.

CORRELACION DE SONDEOS MEDIANTE DIAGRAFIAS. APLICACION AL SECTOR OESTE DE MADRID



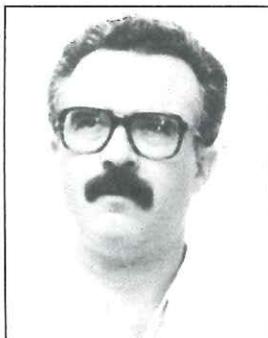
Jesús Díaz Curriel

Licenciado en Ciencias Físicas. Profesor de la E.T.S.I. de Minas de Madrid. Durante los últimos nueve años responsable de testificación geofísica dentro de la Cátedra de Geofísica en dicha Escuela, a la que pertenecen el resto de los autores.



Domingo Martín Sánchez

Licenciado en Ciencias Geológicas. Encargado del grupo de trabajo e investigación.



Alfonso Maldonado Zamora

Doctor Ingeniero de Minas y catedrático de geofísica aplicada. Experiencia en el ámbito de la ingeniería civil y la hidrogeología.

En esta comunicación presentamos un análisis global de los resultados obtenidos mediante Testificación Geofísica en seis sondeos para captación de agua situados al Oeste de Madrid.

Para emprender este estudio se han recopilado antecedentes geológicos e hidrogeológicos de este área y se ha realizado una síntesis de los resultados obtenidos a partir de los perfiles (diagráfias) de parámetros eléctricos, gamma natural y flowmeter realizados en los sondeos antes citados.

Al mismo tiempo, y dada la poca continuidad lateral que los niveles considerados de forma aislada presentan en este tipo de acuífero multicapa, se han establecido los tramos geofísicos de las citadas diagráfias con sus correspondientes asignaciones litológicas.

Posteriormente se ha analizado la posible correlación de los tramos litológicos seleccionados en cada uno los sondeos, comprobando así su continuidad lateral y llegando a establecer una sección NNO-SSE sobre la zona de estudio.

Por último, se ha intentado llegar a una correlación entre los caudales de aporte en cada uno de los tramos litológicos anteriormente citados.

Palabras clave: Correlación, Sondeo, Diagráfia, Caudalímetro, Tramos, Acuífero multicapa, Agua subterránea, Cuenca del Tajo, Oeste de Madrid.

In this paper we present a complete analysis of the results obtained by Geophysical logging done in 6 water supply wells. The wells were carried out in the western area of Madrid.

Previously to the study, geological and hydrogeological data from this area have been compiled. A summarize of the results has been made using the electrical parameters, the natural gamma rays records and the flowmeter data.

In this kind of multilayered aquifers the interpreted beds show limited lateral continuity, for this reason the geophysical stretches have been determined.

Subsequently, the lithological stretches, chosen in each of the wells, have been analyzed, its lateral continuity have been verified and a geological section NNW-SSE has been constructed for the study area.

Finally, we intended to prove the correlation between the caudal contributions of the different different stretches.

Key word: Correlation, Well, Log, Flowmeter, Zonation, Multilayered aquifer, Groundwater, Tajo Basin, West Madrid.

Introducción

La limitación de los recursos de agua superficial en época de sequía y la creciente demanda de agua, tanto para uso doméstico como industrial, del área metropolitana de Madrid, han despertado un mayor interés por las aguas subterráneas. Por este motivo la empresa -Canal de Isabel II- abordó en 1992 la perforación y el estudio de una serie de pozos para captación de agua subterránea.

La Cátedra de Geofísica Aplicada de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid, junto con la empresa C.G.S.,

fueron las encargadas de realizar la testificación geofísica de dichos pozos, situados al Oeste de Madrid, cuya localización aparece en la **Figura 1**.

Los fines de dichos estudios eran determinar los niveles permeables, para la posterior colocación de tubería filtrante, y la medida del caudal suministrado por cada uno de los tramos mediante registros de flujo vertical de agua (en lo que sigue, flowmeter).

Aunque estos objetivos eran los marcados por la empresa contratante, se consideró la valía de los datos obtenidos para conseguir una sección geológica en este área y atribuir a cada

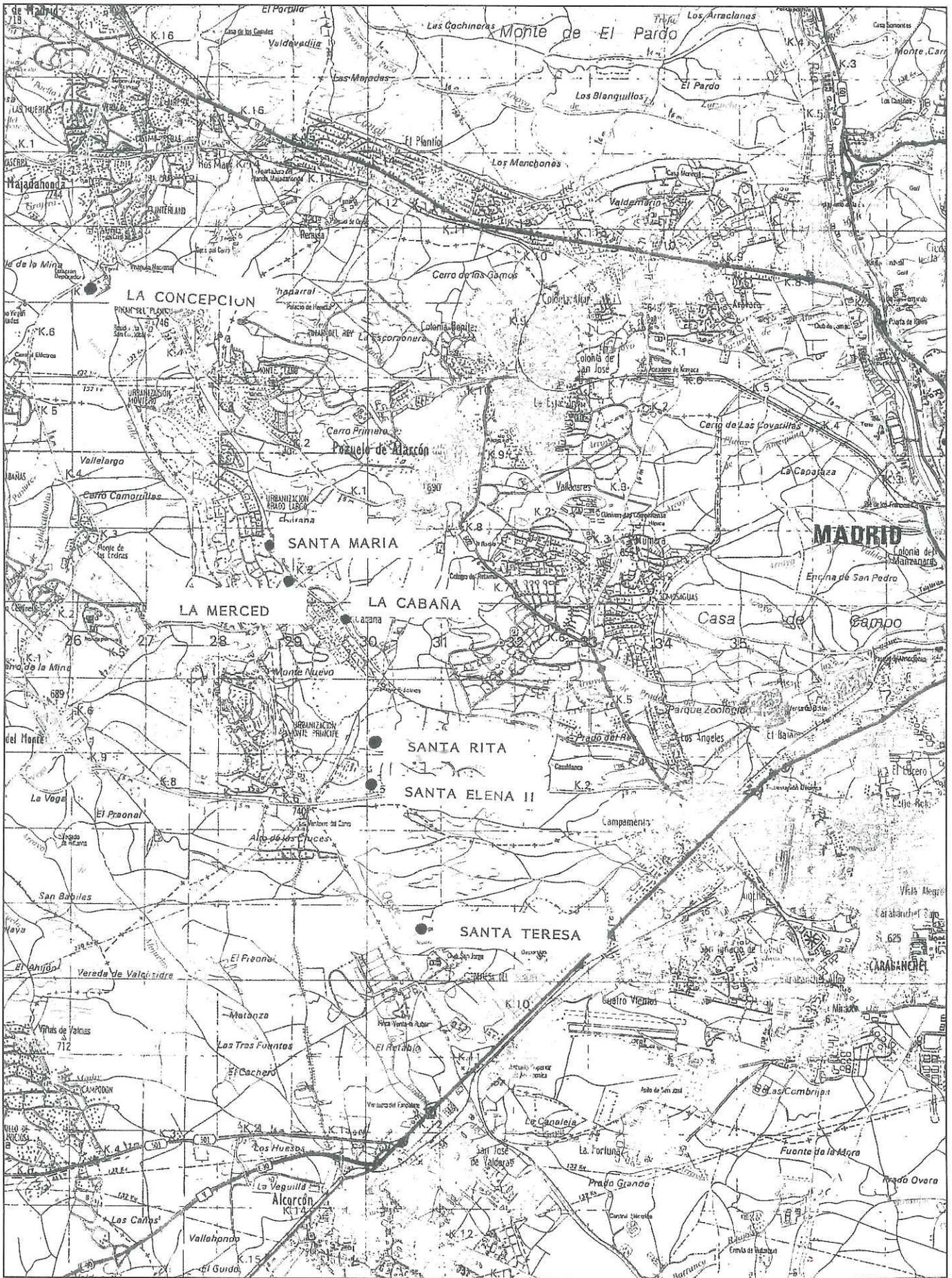


Figura 1. Croquis de situación.

formación acuífera determinada, un caudal de aporte global en las condiciones previstas de bombeo. Con este fin, se han desarrollado, en la presente comunicación, los apartados siguientes:

- Realizar una síntesis de los niveles permeables determinados mediante la interpretación litológica de los perfiles resistivos, gamma natural y potencial espontáneo en los pozos estudiados.
- Interpretar y definir los tramos geofísicos, correlacionándolos en una sección NNO-SSE comprobando si los tramos encontrados poseen o no continuidad lateral.
- Una vez transformadas las velocidades de flujo (flowmeter) a caudales que suministra cada nivel permeable, determinar los tramos de aporte en cada uno de los citados pozos.
- Evaluar en qué medida le corresponde, a cada tramo encontrado mediante la zonación de perfiles geofísicos, un caudal de aporte determinado.

Debemos recordar que correlacionar en sentido estratigráfico es mostrar una correspondencia en carácter, secuencia y posición entre puntos de distintos sondeos. A esta definición debemos añadir, para obtener una correlación litoestratigráfica, el concepto de pertenencia a una misma unidad litológica.

En la actualidad es posible, y tiene sentido, realizar correlaciones de capas (Díaz Curiel et al.) entre diagráfias realizadas en sondeos relativamente próximos. No obstante, en acuíferos detríticos multicapa, esta correlación carece frecuentemente de sentido geológico. Por ello, la división de las diagráfias en tramos (series o zonas) con unas determinadas características comunes, se plantea como la mejor solución para alcanzar este objetivo.

Marco geográfico y geológico

La zona objeto de estudio está localizada, como se aprecia en la **Figura 2** (de López-Camacho), en la margen derecha del río Manzanares, entre los arroyos de la Trofa al Norte y Butarques al Sur. Geográficamente se halla ubicada en la cuenca del Tajo de la submeseta meridional.

La superficie que ocupa está repartida entre las Hojas n.º 558 de Madrid y la n.º 559 de Villaviciosa de Odón del Mapa Geológico de España

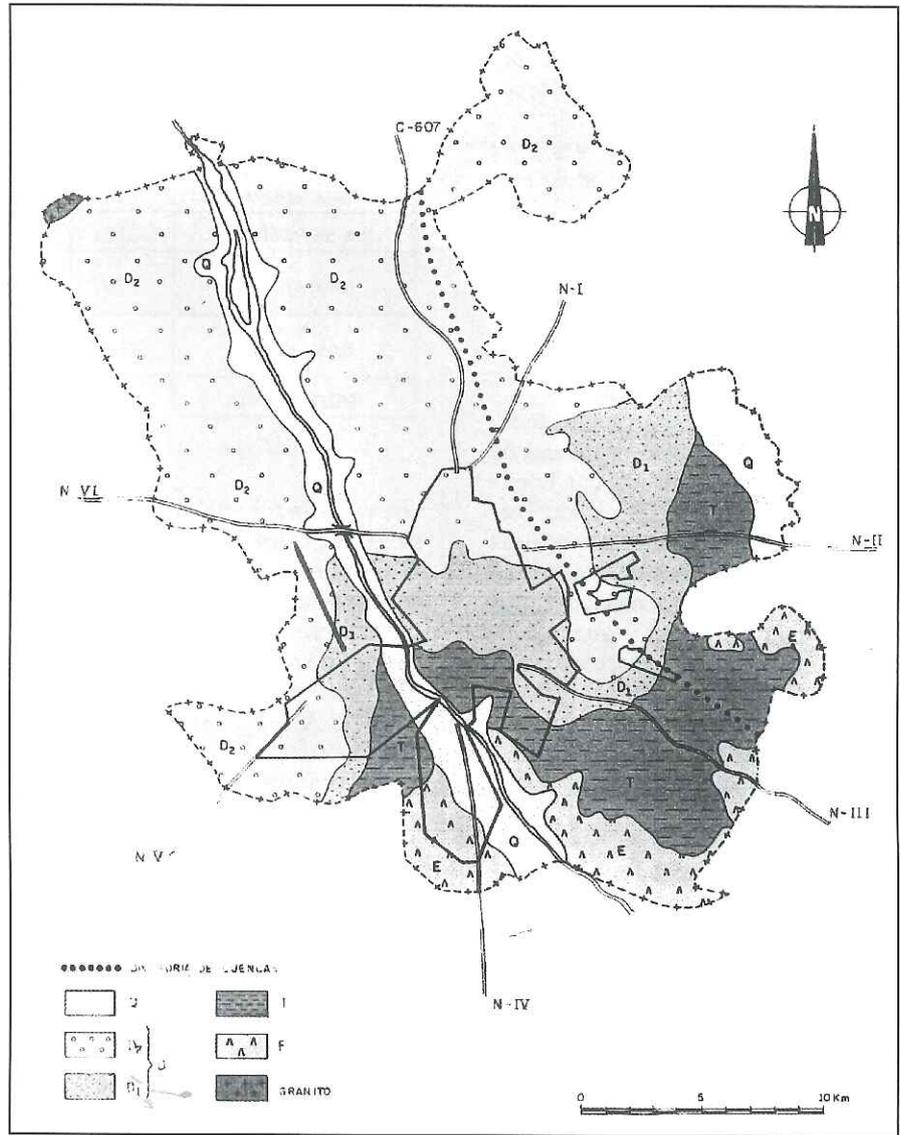


Figura 2. Geología del área.

(I.T.G.E.) a escala 1:50.000 abarcando los municipios de Madrid, Boadilla del Monte, Pozuelo de Alarcón y Majadahonda situados en el tercio Oeste de la provincia de Madrid

Geológicamente los sondeos realizados se sitúan en la parte Noroccidental de la Fosa del Tajo, sobre sedimentos continentales miocénicos de relleno de la fosa.

Los materiales que rellenan la fosa del Tajo son arenas, limos y arcillas, procedentes de la erosión del Sistema Central, formado por granitos, gneises, pizarras y cuarcitas paleozoicas. Estos sedimentos se depositaron en un medio continental árido, según el mecanismo de abanicos aluviales, caracterizado por la complejidad de estructuras sedimentarias. Posteriormente desde el Plioceno hasta la actualidad se inicia un período erosivo que da lugar a una serie de «rañas» y terrazas aluviales.

Desde un punto de vista hidrogeológico el acuífero principal es el constituido por las unidades de las facies detríticas, formadas por una masa de arcillas y limos con mayor o menor proporción de arenas. A escala regional se puede hablar de un acuífero libre, anisótropo y heterogéneo, en el que cada unidad está constituida por la alternancia irregular de niveles acuíferos, acuitados y acuíclados, predominando unos y otros según las distintas unidades. Todos los materiales antes mencionados están enclavados dentro de lo que geológicamente se denomina Facies Detrítica. Esta a su vez se subdivide en:

Unidad Tosco:

Se encuentra estratigráfica y topográficamente por debajo de la unidad Madrid. Su superficie total es del

orden de 1.025 Km², pero al ser subyacente a la unidad Madrid, aflora con una extensión de 183 Km² (Rebollo et al.).

Por datos de sondeos existentes se puede reconocer un espesor de esta unidad por encima de los 250 metros en la parte Norte de Madrid. En las zonas donde ha sido retocada por la erosión presenta un espesor máximo de 120 metros y mínimo de 60 metros, coincidiendo este último con la vertical del cauce del Guadarrama.

Constituye el cambio lateral de facies hacia el Norte de las unidades de transición. Esta unidad, a la que López Vera et al. denominan formación Tosco, está formada por arenas arcósicas de grano medio a fino con limos y arcillas; arcosas gruesas con cantos, con lechos de cantos, fangos y arenas arcósicas; y niveles de sepiolita, carbonatos y sílex.

Unidad Madrid:

Esta unidad se extiende en una superficie de 816 Km², que sumada a los 20 Km² que se encuentran por debajo de los acarros fluviales del Cuaternario, representa unos 835 Km² (Rebollo et al.).

Se compone de arenas arcósicas de grano grueso, gravas y arcillas. Corresponden al último episodio sedimentario arcósico observado dentro del Mioceno.

Características de los sondeos

Los sondeos se perforaron a rotación con circulación inversa, empleando lodo natural como fluido de perforación. La viscosidad se intentó mantener en torno a 30 segundos, alcanzando unos valores de conductividad entre 345 y 375 µmho/cm en la mayoría de los casos, salvo en los sondeos de Santa Teresa con 1.050 µmho/cm y Santa Rita donde se alcanzó un valor de 1.890 µmho/cm.

En la **Tabla 1** se presentan los diámetros de perforación y las profundidades de estudio de cada uno de los sondeos.

Equipos y sondas

El equipo de testificación empleado ha sido un Mount-Sopris 3000 NB,

TABLA 1. DIAMETROS Y PROFUNDIDADES DE LOS SONDEOS				
SONDEO	COTA (s.n.m.)	DIAMETROS DE PERFORACION	INTERVALOS PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD DE REGISTRO
LA CONCEPCION	746 m	660 mm 445 mm	0-120 m 120-490 m	485 m
SANTA MARIA (*)	-730-	450 mm	0-448 m	445 m
LA MERCED (*)	-725-	450 mm	0-454 m	445 m
LA CABAÑA	720	660 mm 445 mm	0-103 m 103-386 m	386 m
SANTA RITA	717	660 mm 445 mm	0-117 m 117-321 m	315 m
SANTA ELENA	715	600 mm	0-430 m	430 m

(*) Sondeos testificados por C.G.S.

con registrador analógico de dos escalas verticales, capacidad de registro simultáneo de cuatro parámetros independientes y control digital de velocidad y profundidad. Las características de las sondas empleadas son:

- Sonda eléctrica: resistividad lateral 1,8 AO, resistividad normal 0,4 AM, resistividad normal 1,6 AM y potencial espontáneo.

- Sonda combinada: resistividad normal 0,4 AM, resistencia monoelectrónica, potencial espontáneo y gamma natural (el detector es un cristal escintilómetro de 6" de longitud de Yoduro de Sodio).

- Sonda radiactiva con una fuente de Am-Be de 1.000 mCi de actividad y detector de B-He para la realización del registro Neutrón-Neutrón.

- Sonda térmica con sensor PT 100-J de precisión 0,2 °C.

- Sonda flowmeter de hélice libre modelo KLP 4285.

Los dos módulos radiactivos registran con períodos de integración de 0,5 y 2 segundos. Esta unidad en su conjunto ha sido calibrada en un sondeo modelo USAEC en Gran Junction, Colorado (USA).

Las velocidades medias de registro fueron de 3,5 m/min para las sondas radiactivas y térmica, y de 6 m/min para las eléctricas, con el fin de aumentar la calidad de las diagráffas y disminuir en la medida de lo posible las oscilaciones de las sondas. Las velocidades máximas de registro para la sonda de flowmeter oscilan entre 25 m/min, los primeros metros, y 17 m/min a 500 metros de profundidad.

La sonda de flowmeter tiene un umbral teórico de 2 m/min y una resolución de 0,3 m/min (4 impulsos por revolución). Dicha resolución corresponde a una sensibilidad desde 0,6 l/s para sondeos de 400 mm de diámetro,

hasta 0,15 l/s para sondeos de 200 mm de diámetro. El Módulo de medida utilizado para este ensayo, RTM 3205, posee dos tiempos de muestreo de 0,5 y 2 segundos, y escalas de registro desde 5 hasta 1.000 cuentas por segundo (c.p.s.) cada centímetro.

Resultados de los registros geofísicos

El análisis litológico del ripio se realizó a «visu» por no disponer de tiempo suficiente para la elaboración de un análisis granulométrico detallado mediante tamizado. En dicho examen se determinó primero el tamaño de los granos predominantes de las distintas muestras y se estimó posteriormente su contenido en arcillas. De esa forma, se distinguieron las siguientes litologías:

- Arenas gruesas o gravas.
- Arenas de grano medio.
- Arenas finas o limos.
- Arenas arcillosas.
- Arcillas arenosas.
- Arcillas.
- Margas.

Esta clasificación no se corresponde estrictamente con las definiciones granulométrica o mineralógica de estos términos pero son de uso generalizado en sondeos de explotación de agua.

A) Ubicación de Filtros:

Con la interpretación litológica resultante del conjunto de los registros (apoyada por las muestras extraídas del sondeo) se han llegado a establecer los niveles permeables de cada sondeo. En base a esta distribución y a características constructivas del sondeo (niveles, longitudes de filtros, cámara de bom-

SONDEO	INTERVALO (m)	NUMERO TRAMOS	TOTAL (m)	P.E. (m)	P.F. (%)
La Concepción	138-468	50	138	480	27.6
Santa María	116-443	37	81	443	18.1
La Merced	77-450	26	71.5	449	15.7
La Cabaña	110-320	24	58.5	344	15.5
Santa Rita	49-228	25	65.5	250	19.2
Santa Elena	118-418	36	71	423	16.6
VALOR MEDIO DEL PORCENTAJE DE FILTROS EN LOS SONDEOS					18.9

P.E. - Profundidad de entubación

P.F. - Porcentaje de filtros

beo, resistencia de tubería y soldaduras,...) se decidieron los intervalos más interesantes para la colocación de la tubería filtrante.

En la **Tabla 2** se presenta un resumen de los filtros recomendados en cada uno de los sondeos, junto con una evaluación del porcentaje que éstos representan sobre la profundidad total alcanzada. Como puede observarse, la proporción de tubería filtrante oscila entre 15 y 30 % lo cuál indica buenas características para su aprovechamiento hidrológico.

Debemos señalar que en los primeros metros de los sondeos de La Cabaña, Santa María, Santa Elena y La Concepción no se ha recomendado la colocación de filtros por encontrarse el nivel estático muy profundo. Lo mismo ocurre en los últimos metros de los sondeos de La Cabaña y Santa Rita por considerarse como niveles poco permeables (arcillosos).

B) Determinación de Tramos:

Los tramos geofísicos están caracterizados por las siguientes propiedades:

- El valor medio de los parámetros registrados que, por su relación con la porosidad y el contenido en arcillas, indica la litología dominante.
- La frecuencia de la curva en cada tramo, que hace referencia al espesor de las distintas capas, así como a su periodicidad de aparición.
- La diferencia entre valores máximos y mínimos de los registros, que nos define si la alternancia de niveles en cada tramo corresponde a litologías parecidas (arcillas y arcillas arenosas,...) o muy dispares (gravas y arcillas,...).

Para una correcta determinación

de dichos tramos, al igual que para la asignación litológica, el interpretador debe conocer la influencia que ciertas características de perforación, tales como la viscosidad del lodo o el diámetro del pozo, tienen en la resolución de los parámetros geofísicos.

Igualmente, debe discernir los desplazamientos que fenómenos como la decantación del lodo, los cambios de salinidad o las variaciones de los distintos diámetros (puntual del pozo, zona de invasión y costra de lodo) producen, tanto en la línea base del Potencial Espontáneo, como en el resto de los parámetros.

En las **Tablas 3 a 8** aparecen, a grandes rasgos, los tramos litológicos determinados en los distintos sondeos testificados.

Resultados Flowmeter

Para una mayor comprensión de los resultados aportados por el flowmeter, conviene estar familiarizado con esta técnica (Díaz Curiel, et al.). A continuación comentaremos los principales resultados a los que se ha llegado en cada uno de los pozos estudiados.

Sondeo La Concepción

Se ha registrado el flujo de agua ascendente en el intervalo de 200 a 468 metros para los caudales de 20 y 30 l/s, y de 260 a 480 metros para un caudal de 70 l/s.

Para las extracciones de 20 y 30 l/s, podemos apreciar un primer tramo de 203 a 250 metros con aportes sectoriales considerables, mientras que el resto muestra unos aportes decrecientes de valor muy bajo. No obstante, para el régimen de 30 l/s, se observa un aumento del aporte entre 301 y 340 metros.

Sin embargo, para un caudal de 70 l/s se produce una nueva distribución de los aportes a lo largo del sondeo. De esta forma, encontramos cuatro tramos característicos: Un tramo de 262 a 358 metros con aportes decrecientes de escaso valor. Un segundo tramo, de 364 a 380 metros, en el que se produce un claro aumento de los aportes. Un tercer

TRAMOS	PROFUNDIDADES	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 76 metros	Arenas gruesas con alternancia de gravas y pasadas arcillosas
Tramo 2	de 76 a 364 metros	Alternancia de niveles areno-arcillosos o arenosos de poco espesor
Tramo 3	de 364 a 485 metros	Predominio de niveles de arenas gruesas y gravas con capas de arcillas considerables.

TRAMOS	PROFUNDIDAD	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 72 metros	Alternancia de capas de gravas con arenas arcillosas
Tramo 2	de 72 a 149 metros	Predominantemente arenoso, con intercalaciones de arcilla
Tramo 3	de 149 a 236 metros	Alternancia de capas de poco espesor de arenas finas y limos con pasadas de arcilla
Tramo 4	de 236 a 286 metros	Capas de arena de espesor en torno a los 3 metros con intercalaciones de arcilla
Tramo 5	de 286 a 360 metros	Marcadamente arcilloso con intercalaciones de arenas arcillosas y limos.
Tramo 6	de 360 a 448 metros	Alternancia de gravas con arenas e intercalaciones de arcillas de espesor variable.

TABLA 5. TRAMOS DEL SONDEO LA MERCED

TRAMOS	PROFUNDIDAD	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 80 metros	Alternancia de gravas arcillas arenosas
Tramo 2	de 64 a 160 metros	Predominan las arenas con intercalaciones de arcilla que se hacen más abundantes hacia la base del tramo
Tramo 3	de 160 a 238 metros	Capas de arcilla de gran espesor con intercalaciones de arenas arcillosas
Tramo 4	de 238 a 306 metros	Alternancia de arenas y arcillas arenosas con intercalaciones de limos y arcillas
Tramo 5	de 306 a 370 metros	Marcadamente arcilloso con intercalaciones de poco espesor de arenas finas y limos
Tramo 6	de 370 a 448 metros	Alternancia de gravas y arcillas arenosas

TABLA 6. TRAMOS DEL SONDEO LA CABAÑA

TRAMOS	PROFUNDIDAD	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 80 metros	Predominantemente arenoso con considerables niveles de gravas y algunos pasadas de arcillas
Tramo 2	de 80 a 178 metros	Tramo areno-arcilloso con niveles de arenas gruesas de poco espesor
Tramo 3	de 178 a 260 metros	Predominantemente arcilloso. Tramo impermeable
Tramo 4	de 260 a 300 metros	Niveles de arenas gruesas con intercalaciones de arenas arcillosas de espesor considerable.
Tramo 5	de 300 a 375 metros	Alternancia de arcillas, arenas finas y limos

TABLA 7. TRAMOS DEL SONDEO SANTA RITA

TRAMOS	PROFUNDIDAD	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 82 metros	Aparecen niveles de arenas gruesas con espesores en torno a 3 metros y algunas intercalaciones arcillosas
Tramo 2	de 80 a 151 metros	Alternancia de niveles de arena y arenas finas con otros de arcillas.
Tramo 3	de 151 a 200 metros	Predominantemente arcilloso con ausencia casi total de niveles permeables
Tramo 4	de 200 a 232 metros	Alternancia de capas de poco espesor de arena con limos y arcillas
Tramo 5	de 232 a 320 metros	Marcadamente arcilloso con apariciones muy escasas de niveles permeables de granulometría fina

TABLA 8. TRAMOS DEL SONDEO SANTA ELENA II

TRAMOS	PROFUNDIDAD	LITOLOGIAS
Tramo 1	de 0 a 85 metros	Arenas gruesas y gravas con pasadas arcillosas.
Tramo 2	de 85 a 138 metros	Areno-arcilloso con algunas intercalaciones de poco espesor de arenas
Tramo 3	de 138 a 202 metros	Predominantemente arcilloso con intercalaciones de arenas finas y limos.
Tramo 4	de 202 a 250 metros	Capas de arena gruesas de espesor variable a lo largo del tramo, con intercalaciones de niveles de arcillas.
Tramo 5	de 250 a 344 metros	Predominantemente arcilloso de carácter impermeable
Tramo 6	de 344 a 425 metros	Niveles de arenas gruesas y gravas con intercalaciones de arenas arcillosas de espesor considerable

tramo, de 388 a 401 metros, donde no se genera prácticamente aporte alguno. Y un último tramo, de 407 a 468 metros en el que se produce una excita-

ción de los niveles, provocando un fuerte gradiente de caudal con aportes muy considerables.

Los resultados de la interpretación

cuantitativa, para los distintos caudales de bombeo, arrojan la distribución en tramos de aportes diferenciados que se presenta en la **Tabla 9**.

Sondeo Santa María

En general se aprecia que el aporte correspondiente a todo el intervalo registrado (240-428 m) representa el 84 % del caudal total de extracción, lo cual supone prácticamente la totalidad del caudal extraído. La distribución de los tramos de aportes diferenciados aparece en la **Tabla 10**.

Sondeo La Merced

Al igual que en el Sondeo Santa María, el aporte correspondiente a todo el intervalo registrado (210-430 m) representa un porcentaje muy elevado (88 %) del caudal total de extracción.

En este sondeo, y para el caudal de bombeo de 25 l/s, con el que se realizó el registro, se observaron aportes elevados (entre 4 % y 15 %) a lo largo del mismo, salvo en los filtros 12, 13, 15, 20 y 21 que dieron valores muy bajos. Esto nos indica que tanto la profundidad de los filtros como su desarrollo han sido muy acertados en general.

Sondeo La Cabaña

A grandes rasgos podemos observar que, con un caudal de extracción de 20 l/s, el aporte correspondiente al intervalo registrado (245-310 m) representa el 60 % del caudal total. Por otro lado, se observan aportes de valor considerable (entre 1 % y 5 %) en todos los filtros, salvo en el filtro 23 que es algo menor, y en el filtro 24 de valor muy elevado (prácticamente 25 % del caudal total). Debemos señalar que este último filtro se encuentra situado entre dos tramos ciegos de 14,5 y 20,5 metros de espesor.

También debemos destacar que al aumentar el caudal de 20 l/s a 35 l/s se produce una pequeña excitación de los filtros 19 y 20 pasando de 4 y 5 %, a 7 y 8 % respectivamente.

Sondeo Santa Rita

Para un caudal de extracción de 15 l/s y la bomba situada a 105 metros de

TABLA 9. APORTES EN EL SONDEO LA CONCEPCION

Caudal de Bombeo Q_T (l/s)	Profundidad (m)	Aporte (l)	% del Q_T
20	0 - 200	12.8	64
	203 - 250	5.2	26
	250 - 400	2	10
30	0 - 200	17.7	59
	203 - 250	7.8	26
	301 - 340	2.1	7
	340 - 468	2.4	8
70	0 - 260	41.3	59
	260 - 358	4.9	7
	364 - 380	4.2	6
	407 - 468	19.6	28

TABLA 10. APORTES EN EL SONDEO SANTA MARIA

Caudal de Bombeo Q_T (l/s)	Profundidad (m)	Aporte (l)	% del Q_T
30	0 - 240	4.2	14
	241 - 287	7.5	25
	338 - 360	6.6	22
	382 - 428	11.7	39

profundidad, el aporte correspondiente a todo el intervalo registrado (110-225 m) representa el 11 % del caudal total de extracción. Los aportes individuales son muy bajos en todos los filtros aunque son algo mayores en los filtros superiores. De hecho, al situar la bomba a 145 metros, el caudal extraído por debajo de esa profundidad es prácticamente sólo el 5 %, al no contabilizar los filtros situados entre 110 y 150 metros.

Todo ello indica que en este sondeo y para el régimen mencionado, casi todo el aporte procede de los niveles situados entre 55 y 110 metros.

Sondeo Santa Elena II

En líneas generales vemos que el aporte correspondiente al intervalo registrado (182-405 m) representa el 44 % del caudal de bombeo, del cual la mayor parte (29 % del total) procede del intervalo entre 381 y 405 metros (coincidiendo para los dos caudales de bombeo).

De los resultados de la interpretación cuantitativa se puede observar la distribución de tramos de aportes mostrada en la **Tabla 11**, para los caudales de bombeo de 25 l/s y 40 l/s.

Debemos señalar que los aportes

de cada tramo filtrante son proporcionales al caudal de extracción de la bomba, es decir, salvo consideraciones de detalle, los aportes (dados en porcentaje al caudal total) se mantienen constantes para los dos regímenes de explotación.

Conclusiones

1.-CORRELACION DE TRAMOS GEOFISICOS

Aunque el acuífero terciario de Madrid, a gran escala, ha sido definido como libre, heterogéneo y anisótropo, localmente se puede considerar como un acuífero multicapa. En este tipo de acuíferos, y especialmente los que corresponden a depósitos de abanicos

aluviales, al intentar correlacionar tramos litológicos se deben extremar las precauciones.

Debemos recalcar que el perfil elegido (NNO-SSE) es casi perpendicular al área fuente de la cuenca, con las consiguientes limitaciones de cara a la correlación geológica, dado el sistema de sedimentación que ha generado estos depósitos.

En la **Figura 3** se presentan los registros de resistividad normal (0,4 AM) y gamma natural de cada sondeo, como representativos de los resultados de la testificación, con los posibles horizontes de correlación.

Como puede apreciarse, la continuidad del tramo superior está claramente establecida. Sin embargo, no podemos afirmar lo mismo del tramo inferior que aparece en los sondeos de La Concepción, Santa María y La Merced, debido a la menor profundidad de los sondeos de La Cabaña y Santa Rita. No obstante, la diagráfia del sondeo Santa Elena II nos hace pensar que dicho tramo se mantiene.

Obsérvese la influencia de la distancia sobre la correlación de diagráfias en el sondeo La Concepción, en el que, al estar más alejado del resto de los sondeos, no se distingue la subdivisión de su segundo tramo (76 a 364 metros) en cuatro tramos diferentes, tal y como sucede en el resto de los sondeos.

2.-COLUMNA TIPO

Basados en la sección anterior podemos asignar, a este área de estudio, una columna litológica tipo. A continuación se describen los tramos de dicha columna, indicando las profundidades mínimas y máximas donde se ha encontrado cada tramo en el conjunto de los sondeos exceptuando los tramos intermedios en el sondeo La Concepción.

TABLA 11. APORTES EN EL SONDEO SANTA ELENA II

Caudal de Bombeo Q_T (l/s)	Profundidad (m)	Aporte (l)	% del Q_T
25	0 - 180	13.9	56
	182 - 220	2.6	10
	231 - 360	1.2	5
	380 - 392	7.1	29
40	0 - 275	28.5	71
	380 - 392	11.5	29

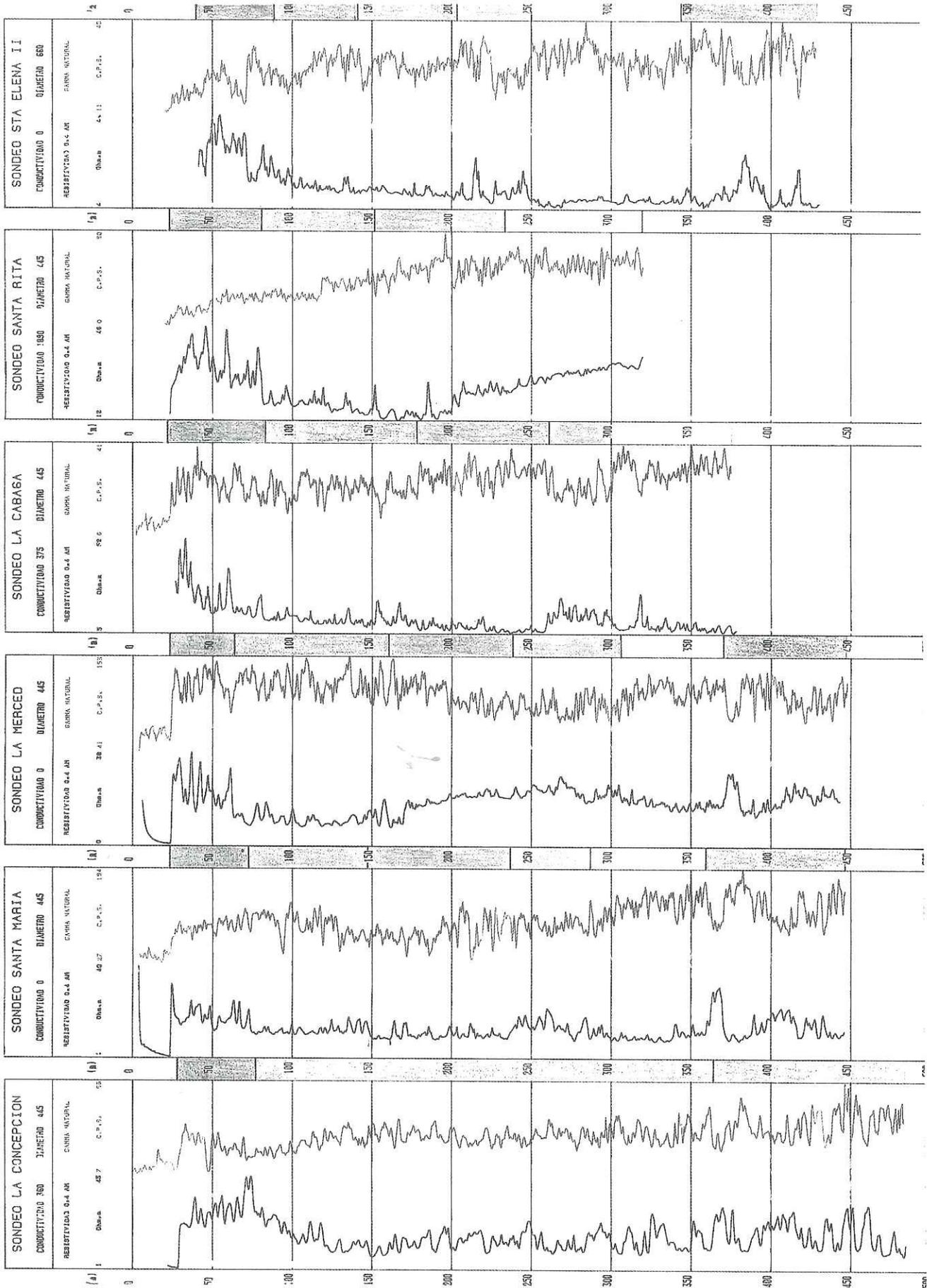


Figura 3. Sección con los tramos geofísicos y horizontes de correlación.

Tramo 1:

Este primer tramo, cuya profundidad inicial es función de la tubería de emboquille (de 20 a 40 metros), se distingue claramente en todos los sondeos, variando su profundidad de base entre 65 y 85 metros.

Del conjunto de los valores de los parámetros registrados podemos deducir que se trata de un tramo claramente permeable. Analizando los máximos y mínimos de amplitud de la curva en este tramo, se observa una considerable diferencia entre éstos, lo que representa una fuerte alternancia de gravas con arcillas arenosas. Los espesores medios de las capas de grava son de 5 a 6 metros, mientras que los espesores de las capas de granulometrías más finas varían de 2 a 8 metros.

Tramo 2: De (65-85) a (140-170) metros.

Se observa un aparición de litologías menos permeables. Esta constituido por una alternancia de arenas limpias de grano medio a fino (con espesores que van de 3 a 6 metros) e intercalaciones de arenas arcillosas y/o arcillas de espesores variables.

Tramo 3: De (140-170) a (200-260) metros.

Predominio de litologías poco permeables. Se trata de una serie de capas de arcillas de espesores en torno a los 10 metros con intercalaciones de arenas arcillosas y pasadas de limos.

Tramo 4: De (200-260) a (240-310) metros.

Tramo permeable de arenas limpias de grano medio a grueso según el sondeo analizado. El espesor de las capas de arena oscila de 3 a 6 metros, intercaladas por arenas arcillosas.

Tramo 5: De (240-310) a (340-375) metros.

Se ha definido como un tramo predominantemente arcilloso, con intercalaciones de arenas finas y pasadas de limos.

Tramo 6:

Este tramo solo aparece en aquellos sondeos con profundidades de perforación superiores a los (340-370) metros, llegando hasta 460 metros en el sondeo La Concepción.

Nos encontramos con litologías claramente permeables. Lo constituyen una serie de capas de gravas con espesores entre 4 y 10 metros con intercalaciones de arcillas arenosas de espesores variables.

Por último, señalaremos que en los tramos 2, 3, 4 y 5 se observa una ten-

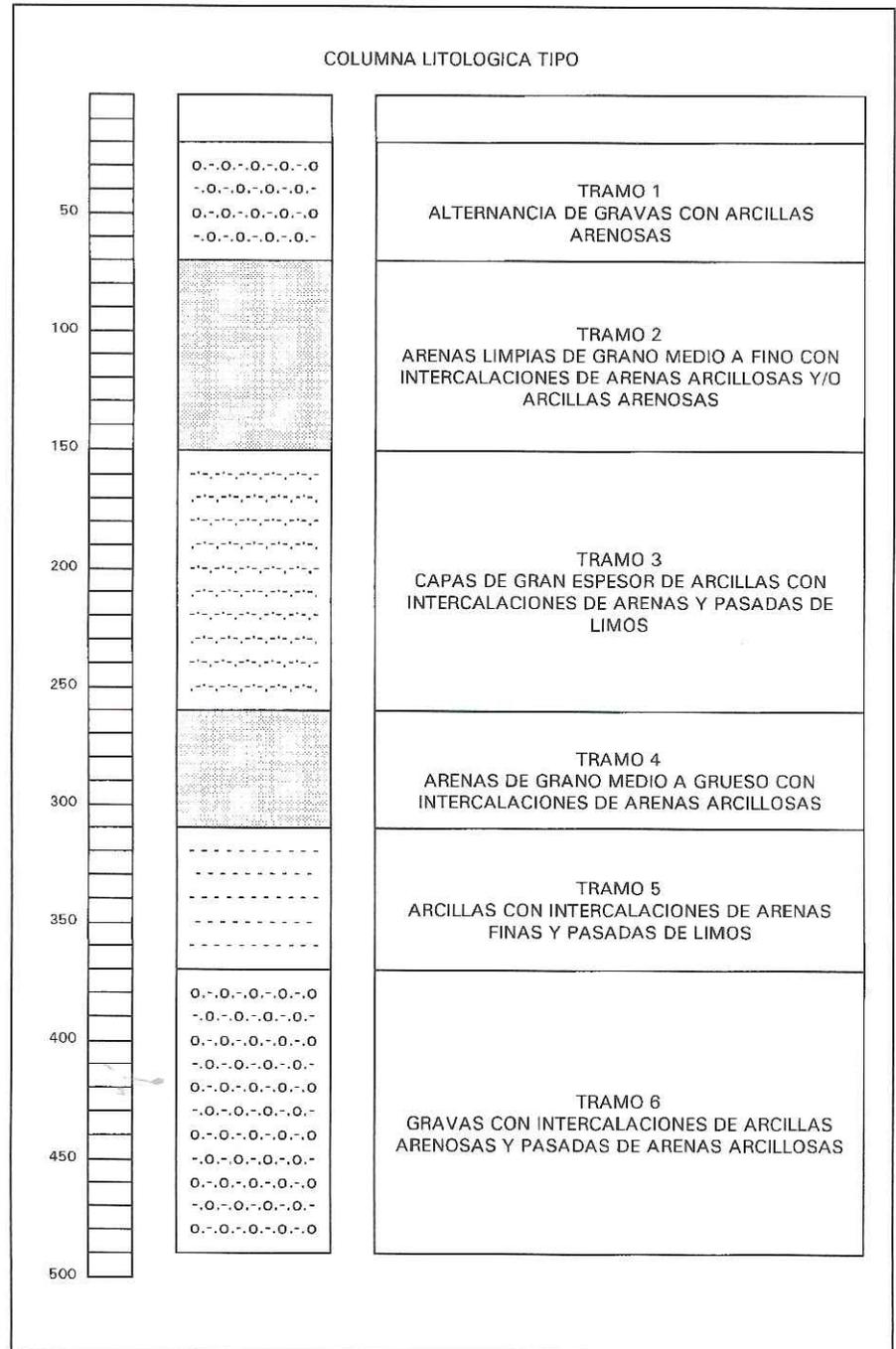


Figura 4.

dencia a aumentar el espesor de las capas de arcillas, junto con una disminución de la frecuencia de aparición de las capas arenosas hacia el SSE.

En la **Figura 4** se presenta esquemáticamente la columna tipo aquí descrita.

3.-CORRELACION DE RESULTADOS DE FLOWMETER.

Antes de pasar a comentar las conclusiones sobre el conjunto de los resultados de flowmeter, debemos recor-

dar que las depresiones producidas, así como algunas características constructivas, provocan un comportamiento hidráulico aparente que enmascara las propiedades intrínsecas de cada uno de los niveles. Por esa razón, presentamos en la **Tabla 12**, un cuadro esquemático sobre algunas características constructivas e hidráulicas de los distintos sondeos.

En un primer análisis de los resultados de flowmeter, se observa una ausencia aparente de correlación entre las curvas de aporte de los distintos sondeos. Por esta razón, se han intentado

TABLA 12. PARAMETROS HIDRAULICOS Y DE ENTUBACION DE LOS SONDEOS

SONDEO	PROF. TUBERIA (m)	NIVEL ESTATICO (m)	CAUDAL (l/s)	NIVEL DINAMICO (m)	DIAMETRO TUBERIA (mm)	TIPO FILTRO	CAUDAL ESPECIFICO (l/s/m)
LA CONCEPCION	480	151	70	211	392 F 404 C	JOHNSON	1.17
SANTA MARIA	443	129	70	230	350	PUENTE.	0.89
LA MERCED	449	114	60	245	350	PUENTE.	0.46
LA CABAÑA	343	96	48	249	350 F 404 C	JOHNSON	0.31
SANTA RITA	250	56	15	111	350	PUENTE.	0.27
SANTA ELENA	423	96	60	237	392 F 404 C	JOHNSON	0.42

F - Tubería filtrante C - Tubería ciega

ZONA 3.-La constituyen los sondeos de Santa Rita y Santa Elena situados más al SSE. El rasgo que ha motivado el agrupar estos dos sondeos en una zona de comportamiento hidráulico distinto al de las anteriormente definidas, ha sido el hecho de que al menos el 50 % del caudal total bombeado procede de los 200 primeros metros. Esta hipótesis se apoya en los registros de cámara de vídeo efectuados en estos dos sondeos, donde se distingue, sobre todo en el sondeo de Santa Rita, una clara obturación de las filtros más profundos, explicando así su bajo caudal específico.

establecer ciertas correlaciones de comportamiento hidráulico para las unidades litológicas definidas en los distintos pozos.

Con este fin se han representado, en la **Figura 5**, los aportes sectoriales de cada sondeo (ordenados según el perfil de correlación) para los distintos caudales de bombeo. En dicho gráfico, se han superpuesto los tramos litológicos deducidos a partir de las diagráfias.

En primer lugar, se han distinguido 3 zonas, distribuidas de NNO a SSE, cuyo comportamiento hidráulico parece diferir:

ZONA 1.-El sondeo de La Concepción representa a la 1.^a Zona situada más al NNO. Presenta un elevado caudal específico respecto a los demás sondeos, lo que ya indica un comportamiento hidráulico claramente diferente.

Esta diferencia vendría corroborada por el análisis de correlación de diagráfias realizado en el apartado anterior, en el que no se distinguían tramos impermeables de considerable espesor, sino una alternancia de capas de arenas con capas de arcillas y limos.

ZONA 2.-Comprendería los sondeos de Santa María, La Merced y La Cabaña, que poseen ciertas similitudes en cuanto a aportación de caudales en profundidad se refiere. Como se puede apreciar en la **Tabla 13**, aproximadamente el 80 % de caudal bombeado procede de los niveles que se encuentran por debajo de los 220 metros de profundidad.

El hecho de que en el sondeo de La Cabaña, el caudal por debajo de los 220 metros sólo alcanza el 60 % del total, se debe a que este sondeo no corta el tramo 6 que suministra un importante caudal, tal y como se observa en el resto de los sondeos que lo atraviesan.

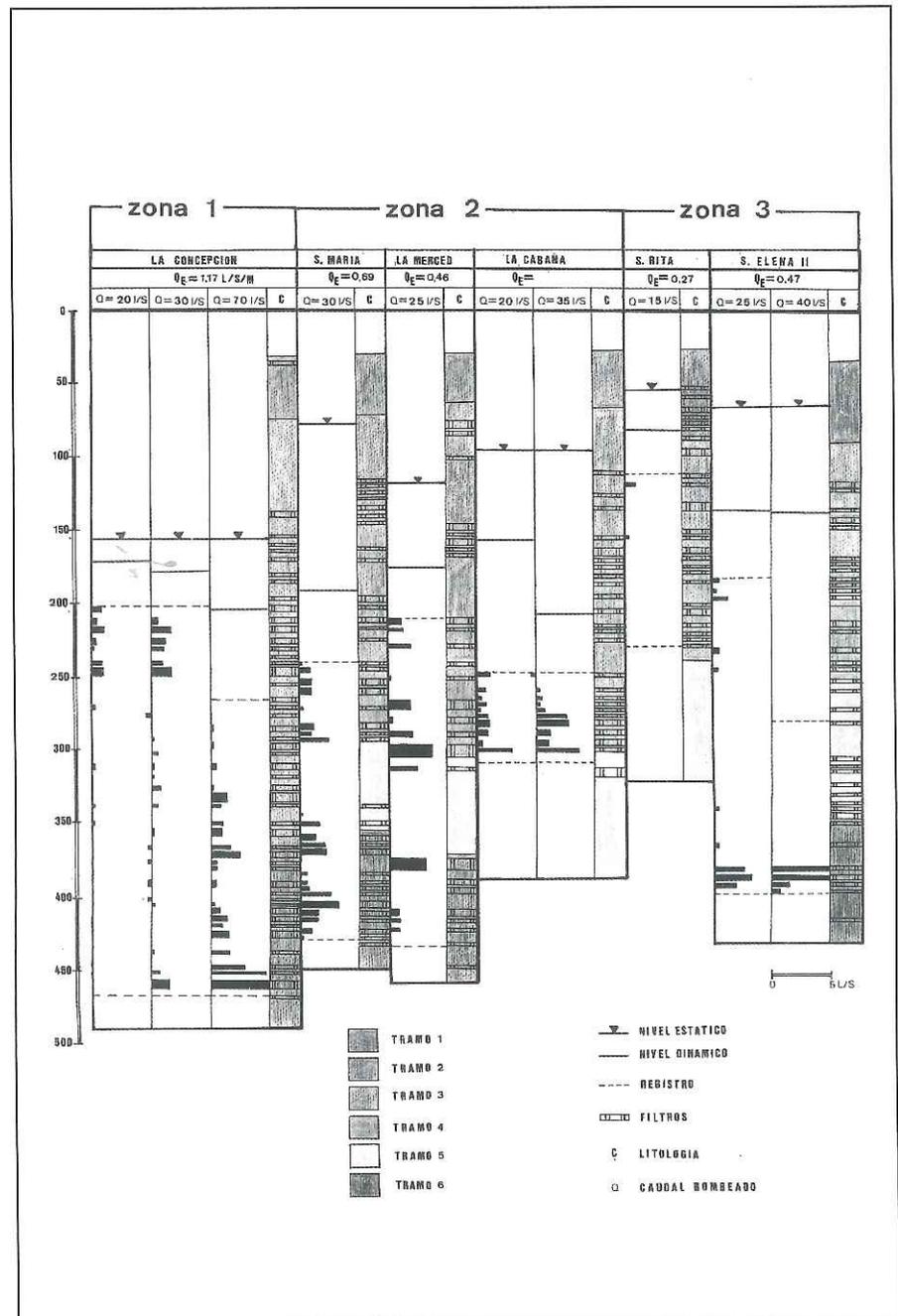


Figura 5. Correlación de los resultados de flowmeter.

TABLA 13. CAUDALES DE APORTE DE LOS DISTINTOS TRAMOS (% de Qb)

TRAMO	LA CONCEPCION		SANTA MARIA	LA MERCED	LA CABAÑA		SANTA RITA	SANTA ELENA	
	Qb = 30	Qb = 70	Qb = 30	Qb = 25	Qb = 20	Qb = 35	Qb = 15	Qb = 25	Qb = 40
1	59	59	14	21	44	40	85.5	61	70
2									
3	33	13	25	36	56	60	11.5	8	1
4									
5									
6	8	28	61	43				30	30

Qb : Caudal de bombeo (expresado en l/s) con el que se realizó el registro de flowmeter.
 — : Profundidad aproximada de inicio del registro de flowmeter.

No obstante, existen dos diferencias entre éstos: la menor profundidad alcanzada por el sondeo Santa Rita que no atraviesa el último tramo definido en el de Santa Elena, y un mayor espesor del tramo impermeable (con indicios de alcanzar facies químicas de transición).

Se ha intentado establecer si existía una correlación entre los caudales de aporte de los distintos tramos definidos mediante las diagrafas como tramos permeables. Para ello, se han calculado los porcentajes sobre el caudal de extracción, que aportaban estos tramos con los distintos caudales de bombeo. Dichos porcentajes aparecen en la **Tabla 13**, comprobándose que el caudal aportado por los tramos 4 y 6 en los diferentes sondeos, no muestra una correlación evidente.

Sin embargo, aunque dichos porcentajes presenten fuertes variaciones, estos dos tramos pueden considerarse como tramos de aporte elevado dentro de los pozos situados en este área, siempre que el nivel dinámico provocado durante el bombeo sea lo suficientemente profundo para que este nivel acuífero entre en funcionamiento.

Comentarios

— La correlación entre los tramos geofísicos de los sondeos estudiados, no conlleva una correspondencia del mismo alcance entre los comportamientos hidráulicos de los mismos. Esta limitación se explicaría por la heterogeneidad que caracteriza a este acuífero, con distintos porcentajes de finos según su localización, y por las posibles diferencias en las características constructivas de los pozos (grado

de desarrollo, irregularidades en el empaque de gravas, ubicación de los filtros,... etc).

— Es interesante destacar la considerable excitación que sufren los filtros inferiores en el sondeo La Concepción, al alcanzar el nivel dinámico una determinada profundidad, por aumento del caudal de bombeo. Esto hace pensar que al tratarse de un acuífero multicapa a escala local, existen niveles acuíferos con diferente potencial, que no empezarán a funcionar hasta no provocar un descenso por debajo del nivel acuífero de menor potencial. Este efecto se destaca en este sondeo por haberse realizado tres pruebas de flowmeter a distintos caudales de bombeo (20, 30 y 70 l/s).

— El empeoramiento de las características hidráulicas en los sondeos situados más al SSE muestra una correspondencia con el aumento de la proporción de arcillas y limos en dicha dirección, tanto en la frecuencia de aparición de capas como en el espesor de las mismas. Este hecho resulta más evidente en el sondeo de Santa Rita, donde parece que se ha alcanzado la facies de transición, y en el sondeo de Santa Elena donde disminuye el porcentaje de aporte de agua del tramo 4.

— Por último, debemos concluir la utilidad del registro de flowmeter en la estimación de parámetros hidrogeológicos de los acuíferos multicapa, en los que se han venido calculando valores medios a partir de ensayos de bombeo, sin tener en cuenta por un lado, las diferencias hidráulicas de los distintos niveles, y por otro, si se ha provocado el descenso adecuado para la excitación de todos los niveles.

Agradecimientos

Los autores agradecen la autorización de la Empresa –Canal de Isabel II–, responsable del abastecimiento de aguas de la provincia de Madrid, para la publicación de este artículo y a los directores de las obras reseñadas por el empeño técnico mostrado en estos estudios.

Asimismo agradecemos la colaboración de Pilar Morillas en el desarrollo de esta comunicación. ■

Bibliografía

BENOIT COUËT ANDY HUNT, G. PIERS (1988): «Measuring Flow Downhole». The Technical Review. Schlumberger USA.

DIAZ CURIEL, J. et al. (1986): «La Cross-Asociación en la Correlación Litológica de Registros Geofísicos y Muestras de Sondeos». Congreso Nacional de Geología. Granada (1986).

DIAZ CURIEL, J. et al. (1994): «Testificación de -Flowmeter- en Pozos de Agua de Gran Diámetro. Metodología y Aplicaciones». Tecnología del Agua (129 pp. 32-38). Ed. Elsevier.

FUSTER, J. M. y DE PEDRO, F. (1954): «Estudio geológico del borde meridional de la Sierra de Guadarrama, entre Torreledones y Valdemorillo». Not. y Com. del I.G.M.E. n.º 35, pp. 45-70.

GONZALEZ PEREZ, R. D. (1977): «Estudio y aplicaciones de los registros de sondeos a los problemas hidrogeológicos del Terciario de Madrid». Tesina, Fac. Cc. Geológicas, U. Complutense de Madrid.

HANTUSH, M. S. (1964): «Hydraulics of wells. Advance in Hydroscience». Vol. 1, Vente Chow. Academic Press. pp. 281-438.

«Hydraulic Conductivity from a Borehole Flowmeter» - Technical Notes, Vol. 1 n.º 3. Collog Inc. Golden Colorado (USA).

IGLESIAS LOPEZ, A. (1986): «Jornadas sobre la explotación de aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid». Pon.5. Canal de Isabel II y Comunidad de Madrid. Madrid.

I.G.M.E. (1992): Mapa Geológico de España a Escala 1:50.000. (Síntesis Cartográfica), hoja 559. Madrid.

LOPEZ VERA, C. F. (1976): «Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid». Memorias del I.G.M.E. n.º 91.

LOPEZ-CAMACHO, B.; BASCONAS ALVIRA, M. y BUSTAMANTE GUTIERREZ, I. (1986): «El agua subterránea en Madrid». Bol. Inf. del Servicio Geológico del M.O.P.U. n.º 46, pp. 31-37.

LLAMAS, M. R. y LOPEZ VERA, C. F. (1975): «Estudios sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario detrítico de la cuenca del Jarama». Agua, n.º 88 (En/Mar) pp. 36-55.

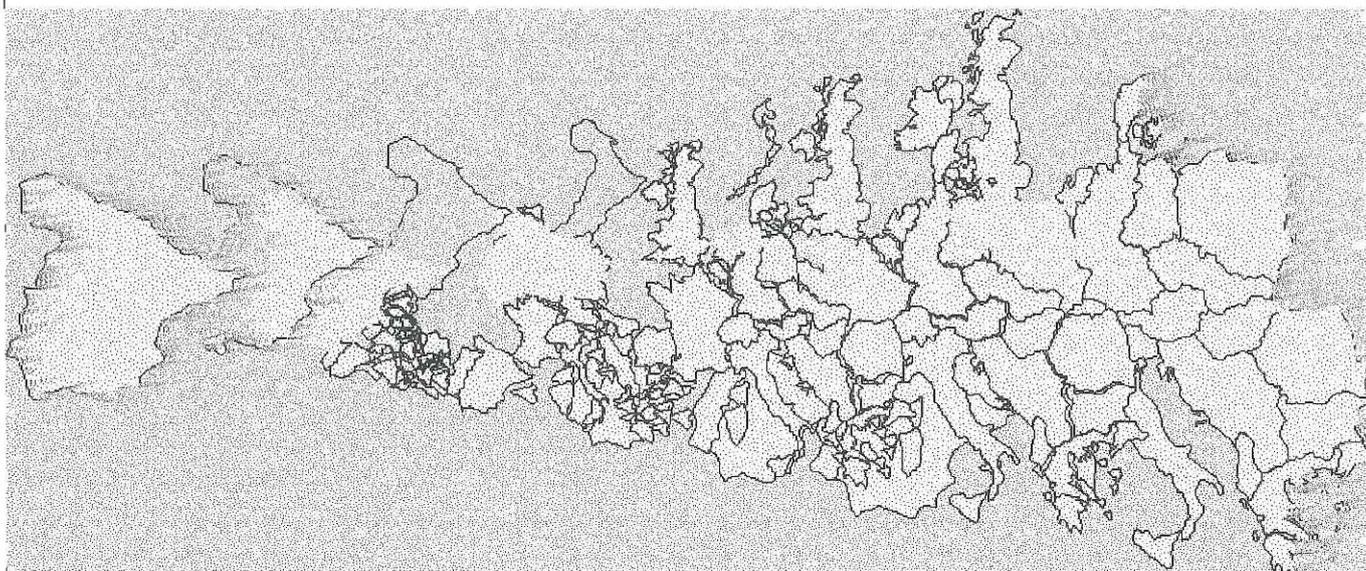
SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJERCITO: Hoja topográfica de España a escala 1:50.000 n.º 559.

REBOLLO FERREIRO, R. F. (1977): «Estudio hidrogeológico regional de la cuenca media y baja del río Guadarrama». Universidad Complutense de Madrid. pp. 5-5.8. Madrid.

SAN MIGUEL, M. et al. (1956): «Mapa Geológico de España a escala 1:50.000». Hoja n.º 533. San Lorenzo de El Escorial. I.G.M.E.

CURSO

PREPARACIÓN DE OFERTAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS PARA CONTRATAR CON LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS



CARACTERÍSTICAS DEL CURSO

LUGAR DE DESARROLLO:

Sala de Actos del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, sita en la Avda. de la Reina Victoria, n.º 8 piso 4.º B de Madrid en jornadas de 16,30 a 19,30 horas.

FECHAS:

Septiembre de 1995.

PROFESORADO:

- Abogado de Estado.
- Funcionarios de las Administraciones Públicas.
- Directores Técnicos de Empresas.
- Otros Profesionales.

PROGRAMA

- NUEVA LEY DE CONTRATOS CON LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS (MAYO 1995)
- CÓMO ELABORAR UNA OFERTA
- LA CONTRATACIÓN EN EL MARCO DE LA UNIÓN EUROPEA
- ELABORACIÓN DE OFERTAS TÉCNICAS DE DIVERSOS TEMAS (HIDROGEOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE, GEOTECNIA, ETC...)
- CASO PRÁCTICO. CÓMO SE PREPARA UNA OFERTA GANADORA

Para más información contactar con la secretaría del ICOG:
Teléf. (91) 553-24-03

LA CUENCA MINERA DE TERUEL. ASPECTOS GEOLOGICOS Y MINEROS

Francisco Carlos Millán Labarta

Colegiado n.º 903. Promoción Granada 1974. Departamento de Investigación y Control de Calidad de Recursos Energéticos en S. A. Minera Catalano-Aragonesa (SAMCA), empresa que en la actualidad explota carbones, sulfato sódico, arcillas especiales y para usos cerámicos, feldespatos e investiga otros recursos mineros.

El carbón en el Bajo Aragón, NE de la provincia de Teruel, supone un recurso de gran interés económico, ocupando aproximadamente un 25 % de la población empleada en la industria de la provincia.

Se extraen del orden de 5 MTONs/año, de carbones subbituminosos o lignito negro, que proporcionan un 15 % de la energía termoeléctrica del país. Cuenta con unas reservas de unos 350 MTONs, que representan alrededor del 17 % del total de reservas de carbón en España.

En el presente artículo se pretende dar a conocer, de forma muy somera, algunas características de la cuenca de depósito y de los propios carbones, así como los tipos de actividad minera que se desarrollan en ella.

Coal in Lower Aragon, NE of the province of Teruel, entails an important economic resource for the region, as 25 % of the workforce is employed in this industry.

On the order of 5 MTONs/year, subbituminous or black lignite of coal are extracted, supplying 15 % of the thermonuclear energy of the country. The region is reserves hold approximately 350 MTONs, which represates 17 % of the total coal reserves in Spain.

The article which follows will discuss some of the characteristics of the deposit fields and the coals themselves, as well as the different wining operations taking place in this area.

Introducción histórica de la minería del carbón

El carbón, en la provincia de Teruel, es un recurso conocido desde muy antiguo, aunque no tuvo una importancia significativa, hasta las últimas décadas, con la aparición de centrales termoeléctricas.

Los cartagineses, en las inmediaciones del pueblo de Utrillas, lo utilizaron para la fabricación de vidrios, aceros y obtención de plomo, habiéndose encontrado restos y escoriales. Esta actividad decayó hasta prácticamente desaparecer en la Edad Media.

A principios del siglo XVIII, además de extraerse azabache, se instaló una fábrica de vidrio en Utrillas bajo la protección de Carlos III. Funcionó un martinete de acero, donde operarios belgas y alemanes, enseñaron a emplear el carbón en las fraguas. Así mismo se explotaba el azufre producido por oxidación de sulfuros y capas superficiales y meteorizadas, denominadas «meneras de alumbre» en las proximidades de Ariño, Andorra, Esteruel, etc...

Durante el siglo XX se inicia una intensa actividad minera, como consecuencia de la demanda de energía para

los procesos industriales. Esta actividad sufre distintos altibajos en función de momentos históricos y va perdiendo mercado a partir de la década de los 60 como consecuencia de la incidencia del petróleo.

Un nuevo período de auge, más importante, surge en los años 70, siguiendo las directrices de PEN que favorece el consumo de energía termoeléctrica nacional tras las crisis del petróleo de 1973 y 1979. Las explotaciones subterráneas se modernizan y llegan a un grado de mecanización elevado, a partir de 1974 comienzan las explotaciones a cielo abierto y en 1979 se pone en marcha la Central Térmica «Teruel» de ENDESA en Andorra con una potencia instalada de 1.050 MW, que junto con las centrales de Escucha (FECSA) y las ya desaparecidas de Aliaga y Escatrón (esta última en reconversión), consumen la práctica totalidad del carbón extraído.

Actualmente las explotaciones se enfrentan a una recesión ocasionada por el incremento de producción de energías más limpias y en general más baratas a partir de otras fuentes y de carbones con mejor rendimiento térmico, que conllevan un grave deterioro

Descripción geológica

El carbón se halla en la «Formación Escucha», de edad Albiense inferior-medio (Salas, 1987 y Querol, 1988), y representa el término final regresivo del ciclo sedimentario del Cretácico inferior, que se inicia en el Barremiense con la creación de un mosaico de cubetas con subsidencias diferenciales muy acusadas y separadas por umbrales, como consecuencia de la reactivación de grandes fracturas tardihercénicas durante el desarrollo de la fase Neokimmérica distensiva.

La sedimentación en estas cubetas se caracteriza por una fase inicial transgresiva, de rápida subsidencia que decrece progresivamente en el tiempo. Empieza con depósitos carbonatados de plataforma, que van siendo substituidos por facies más detríticas desde las zonas más septentrionales y de borde hacia el SE. La Formación Escucha representa este conjunto de materiales detríticos de colmatación durante el Albiense inferior-medio, depositados en un medio de progradación deltáica con influencia de mareas.

Su límite inferior es una ruptura sedimentaria sobre caliza del Aptiense superior marino (Pardo-Villena, 1979) y en zonas más al E y SE el substrato es Albiense inferior marino (Salas, 1987 y Querol, 1988).

El límite superior es una disconformidad, localmente discordancia angular, que pone en contacto la F.E. con la Formación Utrillas, de origen conti-



Afloramientos en la Formación Escucha, primer plano, F. Utrillas, talud, y Paleoceno discordante a techos.

económico y social en toda la comarca y prácticamente en toda la provincia de Teruel.

Situación geográfica y encuadre geológico

La «Cuenca Minera de Teruel» ocupa la zona central y nororiental de la provincia, se asienta sobre terrenos mesozóicos plegados que constituyen la rama oriental o externa de la Cordi-

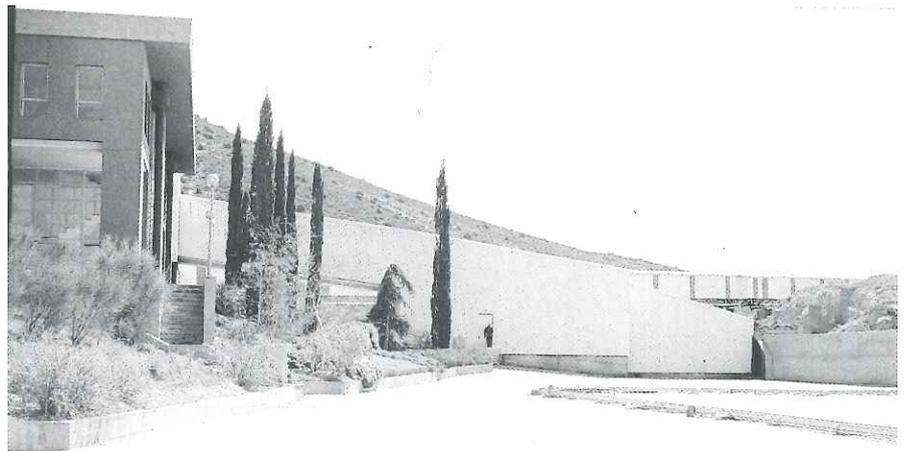
separar, a su vez, dos zonas: una más al N caracterizada por la ausencia, o poca potencia, de los depósitos desde el Cenomaniense hasta el Senoniense y presencia de estructuras compresivas suaves (zonas de Ariño-Andorra, Estercuel y Foz-Calanda) y, otra paralela, al S donde la potencia del Cretácico superior es grande (150 a 200 m) y son frecuentes las estructuras compresivas fuertes (zona de Utrillas-Escucha y Castellote), estos hechos afectan al grado de carbonización siendo mayor en la zona S.

La F. Escucha la constituyen materiales depositados en un medio de progradación deltáica con influencia de mareas.

llera Ibérica, en su enlace con las cadenas Costero-Catalanas.

En esta rama se distinguen dos sectores: el sector N, con predominio de estructuras compresivas y el sector S, con predominio de estructuras distensivas, la separación entre ambas es gradual y está representada por una franja de pliegues suaves. El carbón se encuentra en el sector septentrional.

En el sector carbonoso se pueden



Modernas instalaciones de mina subterránea. Al fondo túnel de acceso a plano inclinado. Ariño.

mental y detrítico, de carácter expansivo, que desborda los límites de la Cadena Ibérica, y que constituye el primer término del ciclo Neocretácico (Albiense medio y superior) precediendo la transgresión Cenomaniense.

Inicialmente fue definida por Aguilar et al. (1971) y redefinida y dividida en miembros por Cervera et al. (1976) y Pardo (1979), en (1990) Querol la modeliza.

Desde el punto de vista descriptivo la dividimos en tres miembros:

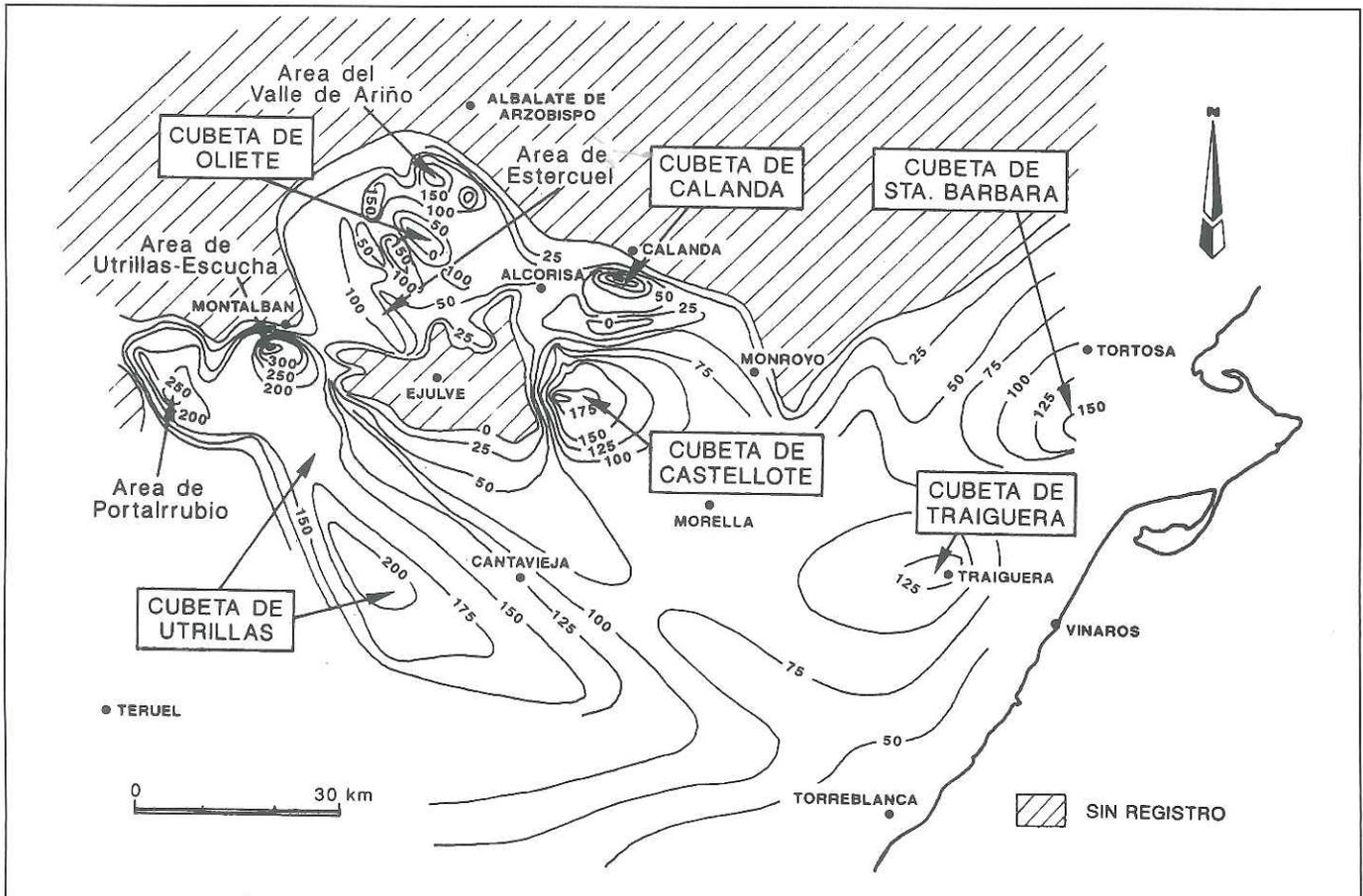
Miembro inferior.—Constituido por arcillas y margas predominantemente grises, a veces pardas, frecuentemente carbonosas, areniscas calcáreas, calizas detríticas y bioclásticas de tonos pardo-grisáceos, niveles de carbón, limolitas y arenas. Se encuentran abundantes restos de gasterópodos, lamelibranchios y ostreidos, generalmente asociados a niveles lumaquellícos, hay presencia de: bivalvos, corales, peces, equinodermos y briozoos. Son frecuentes también, restos de microfauna de aguas salobres (ostrácodos, charáceas, etc.). Y restos vegetales (raíces, pequeños troncos y algunas hojas). Abundan las estructuras de corriente



Explotación a cielo abierto. ENDESA.

de distintas escalas, de oscilación y acreción lateral. Hacia el S y SE, provincia de Castellón, las acumulaciones de carbón desaparecen como consecuencia del dominio de las facies más internas del aparato deltáico (facies de prodelta y frente deltáico).

Miembro medio.—La componen arcillas y limos en lechos milimétricos de tonos oscuros y claros, capas de carbón con raíces asociadas, arenas finas con frecuentes geometrías canaliformes, más frecuentes a techo, al igual que los restos vegetales, mientras que



Mapa de isopacas de la F. Escucha y localización de cubetas sedimentarias. (Querol, 1990).



Afloramiento de carbón autocombustionado y arcillas calcinadas.

hacia la base hay presencia de lumaquellas de gasterópodos de concha gruesa. Se observan laminaciones frecuentes y estructuras de corriente de distintas escalas.

Miembro superior.—Dominan los limos y arenas con niveles margosos y calcáreos nodulosos, de origen edáfico, en secuencias granulométricas decrecientes, con algunos niveles carbonosos, ninguno de entidad para ser explotado. Se identifican facies y subfacies de origen fluvial.

Relación tectónica sedimentación. Distribución de cubetas

Los mapas de isopacas y de substratos de la F.E. ponen de manifiesto la compartimentación y erosión de la cuenca formando seis cubetas con subsidencias diferenciales muy acusadas, separadas por umbrales orientados según direcciones ibéricas y catalanas, manifestando geometrías asimétricas en forma de cuñas prismáticas. En consecuencia las potencias son muy irregulares y varían con gran rapidez, en los depocentros los substratos son Aptiense-Albienense y pueden tener varios centenares de metros; en los bordes, y zonas de umbral, los substratos pueden ser hasta liásicos y el depósito no haber existido o estar totalmente erosionado.

Hay cuatro cubetas en la provincia de Teruel y otras dos al N de la provincia de Castellón y S de Tarragona.

Son carbones subbituminosos con alto contenido en volátiles y reflectividad-media de la vitrinita baja.

Cubeta de Oliete.—Es la más noroccidental, tiene una potencia máxima de unos 250 m en el valle de Ariño. Está separada de la cubeta Utrillas-Aliaga, al S, por el umbral de Ejulve. Presenta dos áreas de gran interés minero: el valle de Ariño y la zona de Estercuel-Cañizar-Gargallo.

Cubeta de Utrillas-Aliaga.—Se alarga en dirección NW-S, al S de la cubeta anterior su depocentro se sitúa en el entorno de Utrillas-Escucha donde llega a alcanzar más de 400 m. Comunica con la cubeta de Castellote al E, al sur de Ejulve. Presentan interés minero las zonas de: Utrillas, Escucha, Palomar, Portalrubio y en menor medida Rillo, Aliaga y Galve.

Cubeta de Foz Calanda.—Situada al E de la cubeta de Oliete y separada de ésta, por una zona de umbral al N de Alcorisa tiene una potencia máxima de unos 250 m que decrece rápidamente en todas las direcciones, limita mediante el umbral de Más de las Matas con la cubeta de Castellote al S, y por el umbral de Fuendespalda con la cubeta de Sta. Bárbara, más al E en la

provincia de Tarragona. El área de mayor interés se encuentra en su depocentro, Val de la Piedra.

Cubeta de Castellote.—Su potencia máxima es de unos 200 m y las capas de carbón tienen relativa importancia en el área septentrional. Actualmente no se explota.

Cubetas de Traiguera (Castellón) y Sta. Bárbara (Tarragona).—Se ubican en áreas más al S y E respectivamente de las anteriores. Aunque han existido algunas explotaciones, éstas cerraron en la primera mitad del siglo. Están prácticamente recubiertas, por lo que se hace difícil precisar sus límites y potencias, su potencia máxima estimada es de 140 a 160 m y sus facies de marcado carácter marino.

Modelo deposicional. Ambientes con acumulación de carbón

La mayoría de autores interpretan el depósito de la F.E., como producto de una sedimentación en un delta con influencia de mareas, cuya evolución se refleja en la existencia de tres sucesiones sedimentarias (prolongación, retrogradación y nueva progradación respectivamente), de las que, solamente, las dos superiores están más generalizadas y presentan niveles carbonosos con interés económico.

La distribución geográfica de estos ambientes se localiza en franjas paralelas, situando las más interiores (facies de llanura deltáica superior) hacia el NW y evolucionando hasta las más exteriores (frente deltáico y prodelta) al SE, en las provincias de Castellón y Tarragona.

Los ambientes generadores de acumulaciones de carbón, dentro de este dispositivo, son:

— *Llanura deltáica pantanosa.* Constituida por turberas situadas en sectores con baja influencia de inundaciones marinas, grandes espesores de carbón y continuos aportes de agua del continente, que depositan lutitas y arenas finas en lagos con una abundante biomasa de charáceas y ostrácodos. Este ambiente está representado en el miembro medio de la F. Escucha.

— *Cinturón de marismas.* Representa facies del tramo superior del miembro inferior de la misma formación. Está constituido por una estrecha franja de turberas situadas en el área de

transición marino-continental. Son capas de potencia y continuidad lateral menor que las anteriores, presentan interestériles con fauna marina litoral y frecuentes concreciones de sulfuros a techo y muro.

Características de los carbones

El Instituto de Carboquímica de Zaragoza, organismo perteneciente C.S.I.C., realizó el estudio de caracterización y clasificación de los carbones aragoneses a partir de análisis inmediatos, elementales y petrográficos, complementados con ensayos carboquímicos como oxidación ASTM, se deduce que los carbones turolenses son en su mayoría carbones subbituminosos con alto contenido en materias volátiles y reflectividad-media de la vitrinita baja. Basados en otras clasificaciones, los rangos de estos carbones varían ligeramente en función del peso específico que asignemos a cada parámetro que sirve para elaborar dicha clasificación (reflectividad de la vitrinita, contenido en materias volátiles, poder calorífico sobre muestra humedad exenta de cenizas, contenido en carbono, etc...).

Se han diferenciado claramente dos zonas en cuanto a distribución paleogeográfica y grado de carbonización; la zona N (cubetas de Oliete y Calanda) y zona S (cubetas de Utrillas y Castellote). En la primera las características y el rango de los carbones es menor, desde lignito a carbón subbituminoso B, y en la segunda, son carbones subbituminosos B y A fundamentalmente.

Las diferencias se explican por:

- Incremento hacia el S de la presión litostática sobre las capas por aumento de la potencia de sedimentos del Cretácico superior y Terciario.

- Mayor intensidad, en la zona S, de la actividad orogénica alpina.

Esto se traduce, para la zona S, en un mayor contenido de carbono fijo y potencia calorífica debido a una matriz carbonosa más condensada. La capacidad de retención de agua y el índice de molturabilidad (Hardgrove) disminuye con la porosidad y aumenta con la compactación. La relación C/O es significativamente mayor en la zona S. La reactividad por oxigenación debido a la porosidad, es superior en carbones de la zona N. La reflectividad de la vitrinita es de 0,3-0,4 en la zona N y 0,4-0,5 en la zona S.



F. Escucha y capas de carbón. Oliete.

Otras propiedades características están relacionadas con la posición de las turberas en áreas más proximales o distales del dispositivo fluvio-deltaico:

- El contenido de cenizas es mayor en el norte por la cantidad de aportes terrígenos.

- El contenido en azufre, en general es superior en la zona N, originado por aportes de aguas sulfatadas fluviales como consecuencia de la lixiviación de materiales del Keuper e infra-líasicos, y ser una cuenca más cerrada.

- Las cenizas, de la zona N, presentan mayor contexto en Al y menor en Na, por lo que la fusibilidad de cenizas es ligeramente menor.

Estado actual de la minería. Tipos de explotaciones

La minería del carbón en Teruel, como en el resto de España, atraviesa su mayor esplendor durante la segunda mitad de la década de los setenta y principios de los ochenta.

En este período las minas subterráneas se mecanizan hasta un grado muy elevado favorecido por: capas potentes, buzamientos entre 20 y 40 grados continuidad y regularidad relativamente grande en las capas y una tectónica no muy intensa; obteniendo unos rendimientos muy elevados.



Explotación a cielo abierto. Corta Santa María.

Las estructuras de mina más comunes son:

- Accesos mediante planos inclinados o en menor medida pozos verticales; galerías de 11 a 14 metros cuadrados de sección sostenidas con bulones en las calizas de muro y cuadros metálicos en el resto de terrenos; el transporte del mineral se efectúa por cintas y, además, están dotadas de carril para servicio de materiales.

- Los sistemas de explotación más utilizados son los de cámaras y pilares o variantes de los mismos.

Hasta hace poco tiempo existían tajos de frente largo con pasadas sucesivas o con soutirage y hundimiento controlado, donde el arranque se efectuaba con martillo picador y explosivo. La explotación era en retirada, la evacuación por transportador blindado hasta cintas de banda y la entibación autodesplazante.

Las explotaciones con cámaras y pilares, actuales, con soutirage en retirada se efectúan avanzando las labores con minador continuo de arranque puntual y ensanchando la galería, en retirada, con los mismos equipos. Se ayuda con explosivo cuando las capas son muy potentes. La evacuación de materiales se realiza con el mismo minador hasta transportadores blindados y cintas. Entre cámaras se dejan pilares largos que aíslan unidades de arranque y permiten el hundimiento controlado, la fortificación se realiza con cuadro metálico que parcialmente se recupera con la explotación en retirada.

Paralelamente a estas explotaciones, surge una floreciente minería a cielo abierto de tipo convencional por transferencia o autorelleno, cuyas Cortas alcanzan profundidades de 100 a 150 m, y ratios medios de estériles alrededor de $10 \text{ m}^3/\text{Tn}$ de carbón.

Se utilizan para el arranque y carga de carbón: retroexcavadoras, tractores de orugas y palas de ruedas; mientras que el sistema de arranque de estériles está en función de su dureza: para terrenos duros, con velocidades sísmicas superiores a 1.800 m/sg , voladura y pala cargadora; en terrenos de dureza intermedia, con velocidades sísmicas

entre 1.000 y 1.800 m/sg , se emplea prevoladura y retroexcavadora o ripado con bulldozer y pala cargadora y en terrenos blandos con velocidades sísmicas inferiores a 1.000 m/sg , el arranque se lleva a cabo con retroexcavadora y carga directamente sobre dumpers de distintas capacidades. Son estas dos últimas clases de terrenos las más abundantes.

A partir de 1985, la evolución de las explotaciones inicia una curva descendente en referencia al número de empleos, mientras que los costes se han incrementado considerablemente el valor de producción ha disminuido, entorno al 25-30 %, creando un margen operativo, en muchas ocasiones negativo, que ha causado grandes dificultades y el cierre de muchas minas de interior.

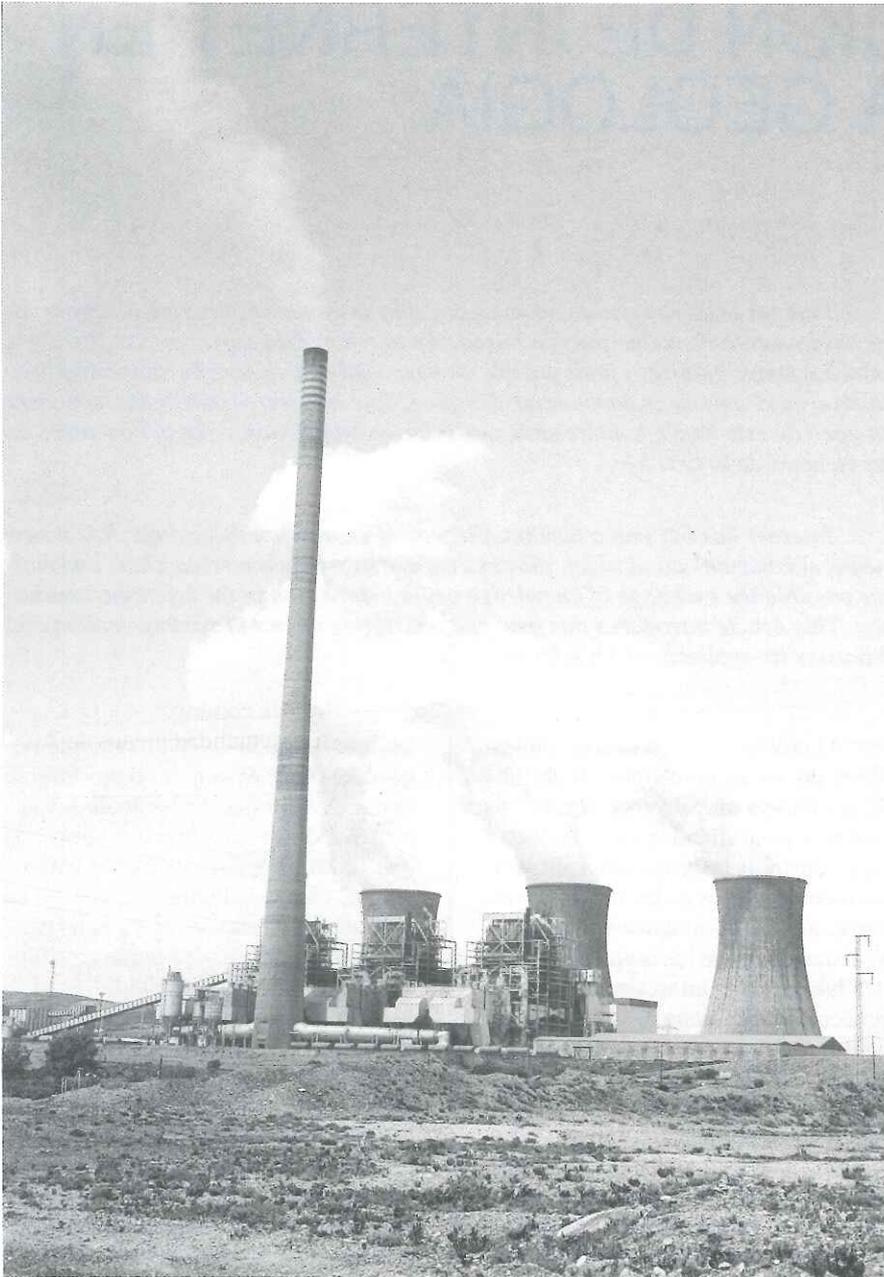
Entre 1985 y 1991 se ha perdido alrededor del 46 % de las plantillas, y esta tendencia continúa a la baja, ocupando en la actualidad menos de 2.000 empleos directos.

El alto contenido en azufre, entre 5 y 6 %, supone aproximadamente, el triple del contenido medio de azufre en

**En la década de los 70
las minas subterráneas
se mecanizan y se inicia
la minería a cielo
abierto.**



Vista parcial de un lavadero. Ariño.



Central Térmica «Teruel» de ENDESA en Andorra.

los carbones del mundo. Con el fin de disminuirlo y adaptarse a las continuas exigencias medioambientales a partir de 1986, se inician las investigaciones para generar energía eléctrica con procesos de combustión más limpia financiados, principalmente, por organismos públicos (CEE, INI, OCI-CARBON, ENDESA, etc...) y diversas empresas, públicas y privadas, incorporan a su proceso de extracción un sistema de lavado de carbones. Esta depuración se lleva a cabo, en unos casos por vía neumática, en general para tamaños superiores a 4-6 mm; en otros por vía hidráulica: en mesas de sacudida, espirales o capas de pulsación neu-

mática; y en otros casos con sistemas mixtos: vía neumática para gruesos y vía húmeda para finos previo despolvamiento por ciclonado, de esta forma, se consigue una eliminación de estériles y una importante eliminación de azufre pirítico.

Entre los proyectos en marcha para producir una combustión más limpia cabe destacar por su importancia y su estado avanzado de desarrollo: la colocación de filtros en la Central Térmica de Andorra que reducirán las inmisiónes de óxidos de azufre en un 90 % aproximadamente. La reconversión de la Central Térmica de Escatrón (Zaragoza) de Endesa, para realizar la com-

Desde 1986, se ponen en marcha los mecanismos para generar energía eléctrica con procesos de combustión limpia.

bustaldera de lecho fluido a presión, donde el rendimiento mejora con la incorporación de un ciclo combinado gas-vapor. La potencia instalada de 80 MW, permitirá quemar carbones con menor poder calorífico que los actuales, aumentando las reservas de la cuenca. El proceso, en líneas generales, consiste en introducir carbón y caliza (absorbente) en el lecho de una caldera, dentro de una vasija a presión, y recorrida por tubos donde circula agua. La combustión se realiza a 860 °C y una presión de 12-16 Kg/cm²; el azufre es retenido en la caliza formando sulfatos. El calor desprendido vaporiza el agua de los tubos y se envía a presión a las turbinas. Los gases de combustión se limpian de cenizas y se llevan a expansión a una turbina de gas que mueve un compresor de aire y un generador eléctrico, antes de emitirlos a la atmósfera, previa depuración en filtros electrostáticos de polvo.

Otro proyecto que se perfila como muy interesante, para el futuro, es la gasificación subterránea, donde se están llevando a cabo diversos ensayos.

Existen, además, proyectos menos desarrollados basados en distintos métodos de pirólisis e hidropirólisis y una variante a la combustión de lecho fluido, en este caso circulante, en el que varía el sistema de combustión, adaptándolo a la presión atmosférica.

Por último desde 1990, funciona una planta de abonos orgánicos y rectificadores de suelos, a partir de leonarditas, que surgió como una alternativa diferente a las destinadas a la producción de energía, y que aún manejando volúmenes mucho menores, tiene una significación importante, en cuanto mejora las condiciones de los suelos agrícolas en un período en el que las condiciones climáticas, cultivos intensivos, riegos con aguas excesivamente salinas, etc... hace que éstos se deterioren rápidamente y sean difíciles las condiciones para su recuperación por vías naturales. ■

LA UTILIZACION DE INTERNET EN LA GEOLOGIA



Carlos Busón Buesa

Colegiado 1.999. En la actualidad efectuando el doctorado en la UNED.

Internet se ha convertido en una expresión de moda en los últimos tiempos. Es un nuevo medio de comunicación basado en la telemática que acorta la distancia entre los investigadores y hace posible un intercambio de conocimientos antes nunca visto en el seno de la comunidad científica. Este artículo pretende dar a conocer un poco de este nuevo e interesante medio de comunicación y sus aplicaciones en las ciencias de la tierra.

Internet has become a fashionable way of expression these days. It is a new means of communication which shortens the distance between researchers and makes possible the exchange of knowledge never before seen in the scientific community. This article introduces this new and interesting means of communication and discusses its applications on science.

El ordenador viene siendo empleado en la investigación de una manera muy diversa. Una de sus enormes posibilidades es la facilidad para transmitir información a sitios físicamente alejados de las fuentes de información. La informática está acortando distancias entre los investigadores y está haciendo el intercambio y la comunicación en el seno de la comunidad científica. El acceso a las redes nacionales e internacionales de comunicación, con el empleo de los actuales protocolos de comunicación hacen posible la consulta de problemas relativos a diversos temas de investigación, la transferencia de trabajos, ficheros de datos o programas, permitiendo incluso la realización de proyectos conjuntos entre investigadores físicamente alejados.

La nueva vía de comunicación Informática es la red Internet, desde hace algún tiempo se viene hablando en los medios de comunicación sobre las autopistas de información. Internet y autopistas de la información son expresiones de moda en los medios de comunicación, especializados o no, en boca de políticos, como eslogan propagandístico, en numerosos cursos de verano y conferencias. Sin embargo en nuestro país son pocos los realmente familiarizados con lo que tales términos significan, y aún menos los usuarios, asiduos o esporádicos, de este nuevo mundo de las comunicaciones. En nuestro país, a pesar del espectacular crecimiento experimentado en los últimos años, el número de

usuarios es todavía relativamente pequeño. Internet puede considerarse como el auténtico embrión de las autopistas de la información sobre las que tanto se habla y discute actualmente, con la salvedad de que no se trata de algo teórico, es ya una realidad que utilizamos diariamente millones de personas en el mundo.

Técnicamente, Internet es una arquitectura Cliente-Servidor, en la que el cliente es un ordenador con un programa para solicitar información a otro servidor, con un programa para suministrar lo que se le pida. Cuando un usuario (cliente) se conecta en la red y pide unos datos el otro ordenador (servidor) se los envía a su ordenador.

Hasta hoy las revistas y libros impresos constituían la base del conocimiento y la comunicación del mismo, pero las posibilidades que nos ofrecen en la actualidad los medios telemáticos hacen que se vayan introduciendo de forma paulatina otros medios como libros y revistas electrónicos, cuyo formato de presentación ha pasado del papel al soporte magnético u óptico.

Se ponen a disposición del usuario innumerables recursos, cuya aplicación social y cultural es incalculable. Intercambio de mensajes, videoconferencias, foros de debate sobre todas las áreas, bases de datos y bibliotecas con millones de registros accesibles, documentos, aplicaciones, estudios, programas informáticos están disponibles en la red de una forma más o menos gratuita para cuantos deseen consultar. Se

abre un universo de posibilidades para iniciar cualquier tarea sin encontrarnos aislados.

En este artículo se expondrá de breve manera algunas de las enormes potencialidades de esta herramienta informática a los que trabajan en el campo de las ciencias de la tierra. Pero antes de nada expondremos un breve resumen del origen de esta red.

El origen de Internet fue la de una red formada por la interconexión de los ordenadores del Instituto de Investigaciones de Stanford (SRI), de la Universidad de California en los Angeles (UCLA), de la Universidad de California en Santa Barbara (UCBS) y de la Universidad de Utah, a finales de los sesenta. Estos cuatro ordenadores marcaron la pauta para que se creara en 1969 por el Departamento de Defensa de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA, ahora DARPA), una red de defensa en el caso de que ocurriera un hipotético ataque soviético, a esta red se le llamo ARPANET, que se desarrollará como tal hasta 1984, cuando, debido al crecimiento en el número de ordenadores conectados (1.024 en ese entonces), se dividiría en dos subredes principales la ARPANET (desmantelada en junio de 1990) y la MILNET (red militar del Departamento de Defensa de EE.UU.). La interconexión en 1983 entre ARPANET, MILNET y CSNET (Computer Science Network) se considera que es el origen de la red de redes o la madre de todas las redes que es Internet. A partir de 1988 debido al elevado número de ordenadores conectados ARPANET se sustituyó por la NSFNET creada por la National Science Foundation, a esta red se fueron agregando otras redes como las de la NASA, las universitarias, centros de investigación, etc., desde entonces se produjo un crecimiento casi desmedido en el número de máquinas conectadas a la red, generado en gran parte por una decisión del gobierno de los Estados Unidos al establecer un conjunto de protocolos de comunicación como el estándar en las comunicaciones de la red. La necesidad de la creación de estos protocolos fue necesaria ya que Internet está compuesta por un aglomerado de subredes (redes locales) y ordenadores de varios tipos, con una tecnología muy diversa, no siendo necesariamente compatibles. Para hacer que este enmarañado de sistemas se comuniquen es necesario por veces te-

ner un traductor de protocolo, comúnmente llamado de «gateway» permitiendo así la conexión de diferentes ordenadores que utilizan distintos sistemas operativos siendo así posible la conexión de PC'S, MAC'S, UNIX, VAX, SUNS, ETC.

El protocolo IP es la pieza fundamental que constituye la red Internet, ya que define una red de comutación de paquetes en que toda la información que se va a transmitir es fragmentada a trozos o paquetes. Cada uno de estos paquetes es enviado con la dirección del ordenador donde debe llegar la información, ésta salta de red en red hasta llegar a su destino. El protocolo que se utilizan Internet actualmente es el TCP/IP (Transmission control protocol/Internet protocol). Cada ordenador tiene una dirección IP, estas direcciones son identificadores invocos de cada ordenador.

La importancia de la estandarización de los protocolos de comunicación se vio reflejada en el número de ordenadores conectados a la red para 1986: 5.089, y en 1987 el número era de unos 28.174. Actualmente esta red está compuesta por más de 300.000 ordenadores distribuidos por todo el mundo.

Servicios disponibles en Internet

Internet es en la actualidad, la red de ordenadores más grande del mundo. Sin embargo, la importancia de la Internet no reside en el número de máquinas conectadas entre sí, sino en los servicios que se pueden obtener de ella.

Los principales servicios que se pueden disponer en Internet son:

- Acceso a catálogos en línea.
- Acceso a bases de datos, comerciales, científicas, etc...
- Correo electrónico
- Teleconferencia y boletines electrónicos de noticias. BBS (Bulletin Board System).
- Revistas electrónicas

Al interconectar los ordenadores que dieron origen a la Internet, se observó la necesidad de implementar un mecanismo que permitiera al usuario la utilización de los recursos de un ordenador al cual él no tenía acceso localmente. Los primeros servicios basados en un protocolo específico fueron Telnet y FTP.

Conexión remota: TELNET

Telnet es una de las aplicaciones más interesantes de Internet, pues permite a un usuario de un ordenador conectado a la red, conectarse a otro ordenador remoto y establecer una sesión interactiva. Esto hace parecer al usuario que su ordenador es un terminal de la máquina remota. Cuando la sesión remota termina, la aplicación regresa al usuario a su sesión en el sistema local.

FTP

El Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP), permite obtener o enviar información de o hacia una computadora remota, lo cual establece un mecanismo de intercambio de información entre usuarios de distintas máquinas. Este protocolo permite la transferencia de archivos de tamaño arbitrario, añadiendo medidas extras para la seguridad del equipo, como la verificación de usuarios autorizados.

E-MAIL: Correo Electrónico

Como consecuencia de la necesidad de una distribución de la información a distintos usuarios en diferentes máquinas, surge la idea de implementar un mecanismo que permita esa distribución a lo largo de una red. La solución se encuentra en el surgimiento del correo electrónico. El correo electrónico se compone de dos partes principales, la interfaz que permite elaborar un mensaje y enviarlo a un usuario o grupo de usuarios de otra máquina, y la interfaz que permite la lectura de los mensajes recibidos.

Noticias electrónicas: News

Las News de Internet son el equivalente a los grupos de discusión de las BBS (Bulletin Board System) que quizá resulte más familiar al lector que usa habitualmente un módem con el ordenador. Realmente son eso, foros de debate o trabajo en grupo, organizados temática y jerárquicamente, en los cuales, mediante el programa cliente correspondiente, podemos expresarnos libremente, consultar o responder cuestiones relacionadas con el objeto del grupo. Siempre y cuando el grupo correspondiente sea abierto. Hay algunos

grupos, llamados moderados, en los que el moderador (redactor) filtra la información que en ellos aparece.

Las últimas estimaciones calculan en más de 350.000 artículos enviados durante 1993. El número de grupos temáticos oscila entre 4.000 y 10.000, fluctuando según su natural proceso de nacimiento y muerte, siendo preciso pagar por recibir algunos de estos servicios de noticias.

Búsquedas: Directorio, Archie,

WAIS

Existe un servicio de consulta llamado «Archie», que permite encontrar información sobre casi cualquier tópico. Archie es un servicio prestado originalmente por la Universidad McGill en Montreal, que consiste en una base de datos donde se registran millones de entradas a millones de archivos repartidos en todo el mundo. El servicio proporciona una identificación del ordenador que contiene el archivo, si como la localización exacta del archivo relacionado con el tópico buscado. De forma general, los archivos pueden ser adquiridos vía FTP anónimo.

WAIS

Un esquema más general de obtención de información y con una interfaz más agradable al usuario, está representado por el «Servicio de Información» en una Area Extensa (WAIS). Este servicio, permite preguntar por un tópico en especial utilizando ya sea una serie de menús, o utilizando preguntas en inglés.

Gopher

Básicamente es un sistema de información de los recursos de Internet, organizado en varios miles de servidores interconectados. Cada uno de estos servidores se encarga de organizar su parcela de información; ésta se encuentra clasificada por tipos y es accesible a través de menús jerárquicos.

WWW y MOSAIC

La «World-Wide Web» (WWW, W3 o simplemente Web) está oficialmente descrita como un «wide-area

hypermedia information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe of documents». El proyecto «World-Wide Web» fue desarrollado en 1989 el CERN (Centre Européene pour la Recherche Nucleaire) por Tim Berners-Lee, permite que todas las personas, con acceso a la red Internet a partir de un simple PC, Macintosh, terminal X o de un superordenador, puedan acceder de una manera fiable y robusta a una variedad y cantidad de información de una manera sencilla.

El Web es un servicio hipermedia de investigación de información que permite un acceso universal a una enorme cantidad de documentos en todo el mundo. El WWW permite la travesía de Internet a través del paso de un documento con otro, vía «links».

La mejor manera de descubrir lo que es la W3 es «navegar» por ella. Se puede utilizar uno de los interfaces gráficos mas popular de acceso a Web, llamado Mosaic (desarrollado por el NCSA - National Center for Supercomputing Applications), otro browser muy popular es el Netscape. El proyecto Web cambió la manera de cómo las personas crean y ven la información, ha permitido el nacimiento de una red hipermedia verdaderamente global.

Mosaic y Netscape son unos de los varios interfaces gráficos, más versátiles, multi-plataforma para el WWW. Debido a la gran cantidad de servicios tradicionales que tiene la posibilidad de acceso a la información en los servidores Gopher, FTP, WAIS News además de poder establecer conexiones Telnet, gracias a su interface hipermedia «point and click» son de muy fácil utilización y se han convertido en los interfaces mas populares para el Web. Las versiones normales de estos programas funcionan en PC's IBM compatibles con Microsoft Windows, Macintosh, Suns, estaciones de trabajo Silicon Graphics y otros ordenadores con el sistema operativo Unix y VMS.

Las posibilidades de WWW son infinitas y, así, una aplicación desarrollada por la NCSA, MOSAIC, permite con un interfaz amigable (Macintosh, Windows o X-Windows) acceder a documentos hipertexto que incorporan imágenes, sonido, vídeo; es decir, documentos hipermedia.

El WWW utiliza un lenguaje de programación muy sencillo denominado HTML de tal manera que cada fi-

chero de texto en formato HTML (Hypertext Markup Language) contiene tantas referencias a otros documentos como sean necesarias. Así pues, un documento sobre el Cretácico en España, incluiría referencias a los autores, libros, imágenes, artículos, vídeos, etc., que no incluiríamos en dicho documento. Para ello tan solo marcaríamos (el usuario ve la palabra o texto enfatizado o subrayado) dicha palabra señalando —mediante una sintaxis determinada— el lugar donde está accesible —http://host/directorio/.../documento.html— y el usuario obtendrá esa información sólo con seleccionar con el ratón la misma. Esto facilita enormemente la localización de la información creando un entramado con las relaciones existentes entre la información, cualquiera que sea su fuente y el lugar en el que se encuentre.

Estas enormes posibilidades han revolucionado Internet. Según datos proporcionados por la revista Internet Society NEWS, si la tasa de crecimiento anual del tráfico Gopher es del 997 %, la tasa del tráfico WWW asciende a 341.634 %. Lo cual no es de extrañar si tenemos en cuenta las múltiples posibilidades al poder transmitir documentos multimedia.

Aplicaciones multimedia

Si las aplicaciones que incluyen informaciones multimedia que no necesitan tiempo real saturan las ya colapsadas redes internacionales, nacionales y locales, el lector puede hacerse una vaga idea de lo que puede ocurrir con aplicaciones como el audio y vídeo conferencia, en tiempo real, que precisan transmitir gran cantidad de información en muy corto espacio de tiempo. Pues bien, esas aplicaciones ya están disponibles mediante el empleo de las denominadas técnicas de multicast IP, software experimental de dominio público que permite ver videoconferencias de un congreso, un curso o seminario, una reunión de trabajo o otras singularidades como el circuito cerrado de televisión de la NASA, el tráfico de una calle de Nueva York o la cafetera de un conocido centro de investigación sin levantarnos de nuestra silla, frente a nuestra pantalla. En este caso los problemas tecnológicos no sólo se derivan de la necesidad de un elevado ancho de banda por el enorme volumen de información transmitida

también la sincronización audio/imágen es un factor muy importante. Pero no todas las aplicaciones multimedia necesitan transmitir información a tiempo real, el correo electrónico también se ha adentrado en el multimedia, en algunos programas se pueden incluir imágenes, texto en diferentes formatos (Word, WordPerfect, pcx, gif, jpg...), con diferentes juegos de caracteres, e incluso vídeo, como parte de un simple mensaje de correo electrónico.

Como hemos visto anteriormente ya existe un sistema que permite conectar un texto, datos, sonidos digitales, gráficos y vídeo en todos los ordenadores del mundo, en un sencillo enlace hipermedia. Este es un sueño bastante antiguo, pero sólo ahora es cuando disponemos de la tecnología necesaria para hacer esto realidad a una escala mundial, a través de la «World-Wide Web».

¿Pero qué significa hipertexto e hipermedia?

Hipertexto es básicamente lo mismo que texto normal que puede ser visualizado, leído, guardado o analizado con una importante excepción: el hipertexto contiene vínculos (llamadas «hyperlinks») con otros textos en otros documentos.

La idea de hipertexto fue anunciada por primera vez por Vannevar Bush en 1945. Theodore Nelson, en los inicios de los años sesenta, utilizó el mismo término para expresar la idea de escritura/lectura no lineal en un sistema de información electrónica mediante el uso de la informática, para describir documentos, que expresan ideas sobre una estructura no lineal, en oposición al formato lineal de los libros, películas y discursos (Microsoft Press, 1991).

Más recientemente, ha sido empleado el término de hiperdocumento (o hipertexto) que resalta la utilización de múltiples tipos de medios en un único documento y busca disociar la idea de presentación no textual de la información.

En realidad, es una metáfora utilizada para designar obras que presentan información utilizando textos, imágenes, sonidos y animaciones unidos en una trama de asociación compleja y no secuencial que permite al usuario definir nuevas relaciones entre los diversos tramos de que se compone el docu-

mento, sin preocuparse con la disposición de los mismos. Estas conexiones se conocen como vínculos o «links», más frecuentemente establecidas por el autor del documento y, en algunos casos, por el usuario, dependiendo de la interconexión del documento (Microsoft Press, 1991; Pfaffenberger, 1992).

Los hiperdocumentos presentan, entre otras, las siguientes características:

- Posibilidad de libre selección del camino a ser recorrido por el usuario.
- Contiene información en diversos niveles, de acuerdo con el interés o necesidad del lector.
- Posibilidad de agregar otros elementos tales como sonidos, imágenes, animaciones y textos.

- Rapidez y facilidad en la consulta.

Hipermedia es un hipertexto con una diferencia; los textos hipermedia contienen vínculos no sólo con otros textos, sino también con sonidos, imágenes y vídeo. Una de sus grandes potencialidades, es el hecho de ser un sistema de publicación extremadamente eficiente permitiendo la presentación de texto sencillos, formateados e hipertexto, en conjunción con imágenes,

«audio clips», secuencias de vídeo y datos científicos, como parte de documentos multimedia e hipermedia. Otro factor a tener muy en cuenta, es que todos estos documentos quedarán disponibles mundialmente con lo que supera a cualquier red de distribución de publicaciones tradicionales.

Internet y Geología

Los recursos disponibles en esta red para las ciencias de la tierra y el Medio Ambiente son muy abundantes, podemos obtener desde imágenes de satélites, datos diversos, programas de soft geológico, etc., que se encuentran en numerosos servidores distribuidos por todo el mundo tales como centros de investigación, servicios geológicos, universidades, empresas, ponen a disposición de los usuarios miles de temas de información.

Prácticamente cualquier área de estudio en las ciencias de la tierra tienen sus foros de debate en las News, se puede conseguir abundante información sobre cualquier tema, el problema es localizar buenas fuentes de informa-

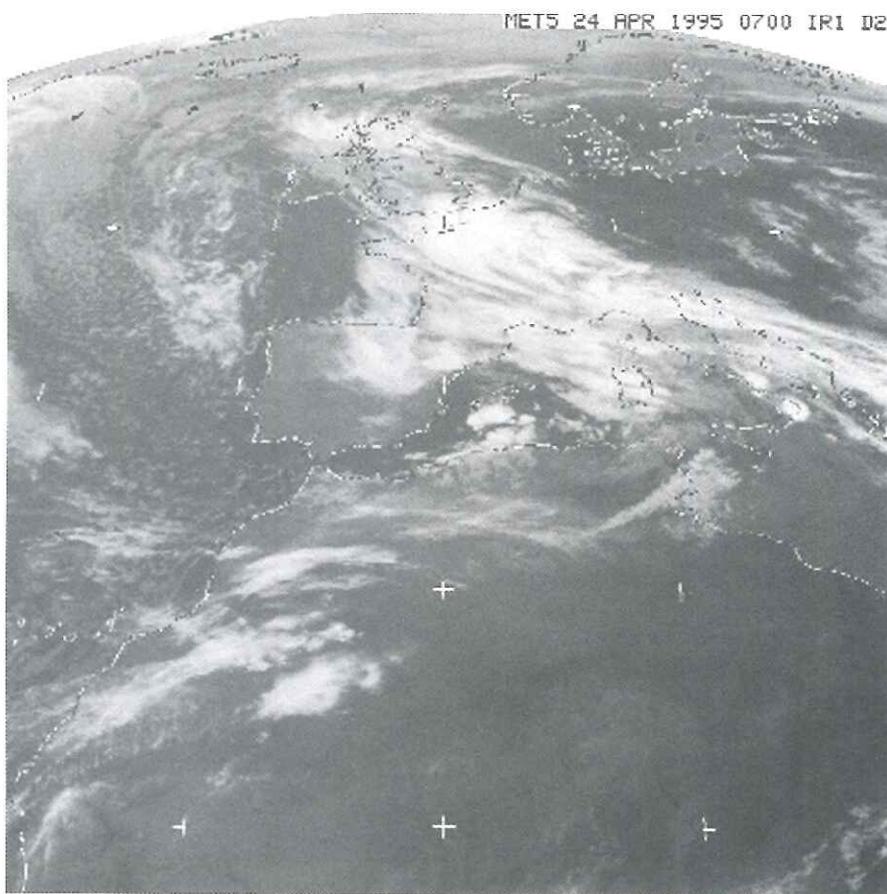


Fig. 1. Imagen del Meteosat obtenida el 25 de abril de 1995 a las 7:00 a.m.

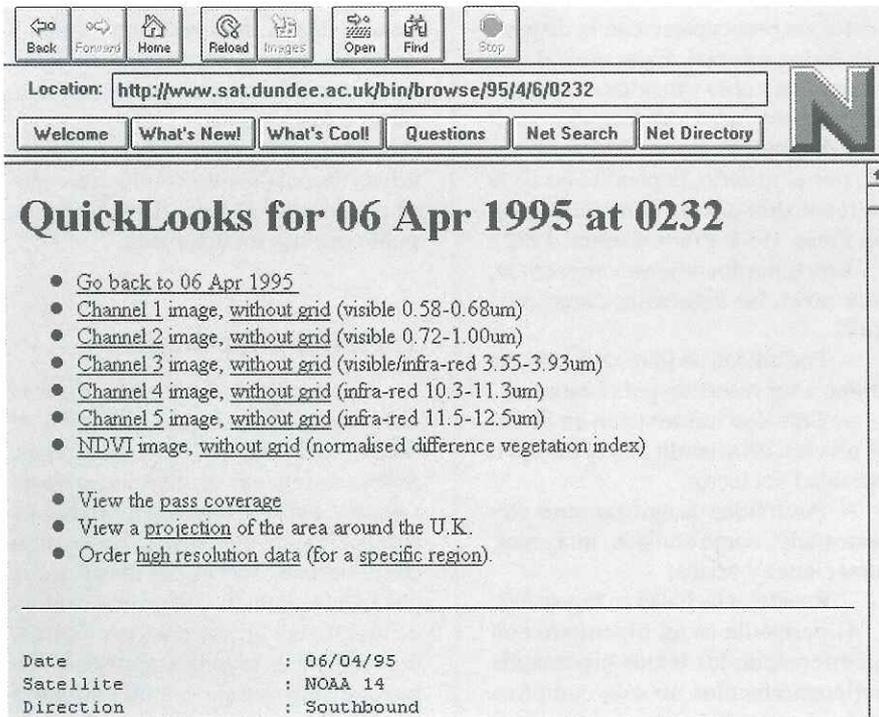


Fig. 2. Aspecto que tiene la pantalla del Netscape en que podemos seleccionar el tipo de imagen del Satélite NOAA que queremos obtener.

ción que hayan sido contrastadas y probadas ya que si nos introducimos a buscar una información por el WWW sobre los volcanes de Japón, y no tenemos una fuerte disciplina podemos terminar en una inmobiliaria de California viendo viviendas para alquilar o comprando entradas para el próximo concierto de los Rolling Stones.

Ahora existe el problema de qué hacer con tanta información y dónde hay que acudir para obtener buenos datos. Por este motivo en este artículo y en una sección de la revista se incluyen algunas de las miles direcciones que pueden ser útiles a los investigadores que trabajan en el campo de las ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente.

Si quisiéramos obtener imágenes de satélite del día existen varios servidores distribuidos en diversos países que nos permiten obtener esta información. Una buena dirección para obtener imágenes de diversos satélites meteorológicos es:

<http://web.nexor.co.uk/places/satellite.html>

este servidor en el Reino Unido se pueden obtener imágenes del Meteosat de la Península Ibérica de las últimas horas, además de otras diversas imágenes

Otra dirección en la que podemos obtener imágenes del Satélite NOAA de los últimos tres años por año, mes, día además de poder escoger el canal según la longitud de onda que queramos es:

<http://www.sat.dundee.ac.uk/bin/Thumbnails-form>

Este servidor nos da la posibilidad de obtener una imagen de más detalle de una parte de Europa, en este caso tendríamos que pagar (recuérdese que buena parte de la información que circula en Internet es comercial), pediría-

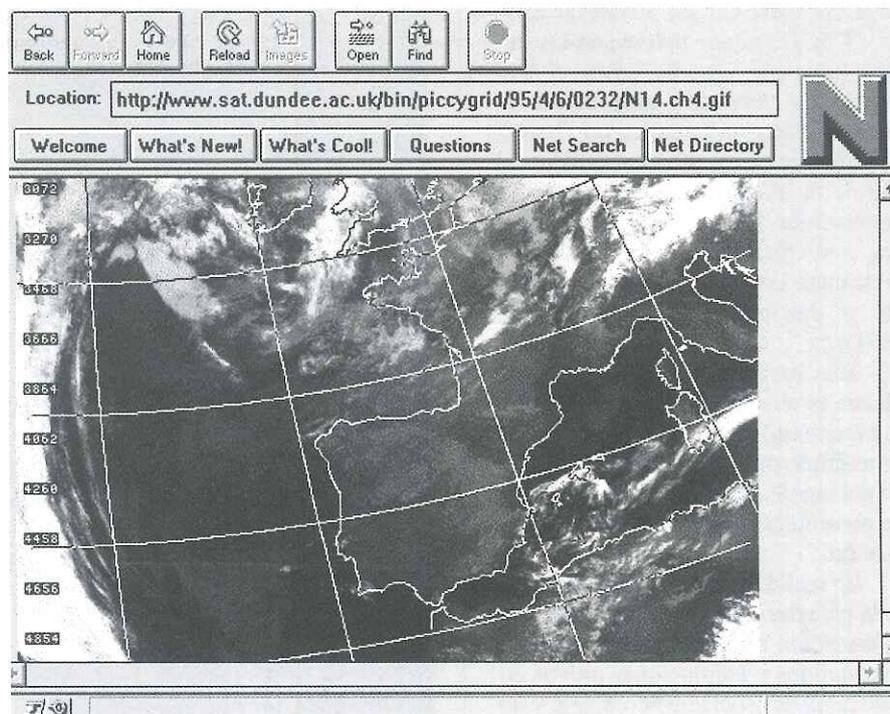


Fig. 3. Imagen del Netscape en que se puede ver la imagen que hemos recibido de la Península Ibérica del Satélite NOAA del día 6 de abril de 1995.

mos la imagen que queremos por red y ésta se nos envía.

Una interesante dirección es la del U.S. Geological Survey. Es el principal servicio Geológico Norteamericano (varios estados de la Unión disponen de su propio servicio geológico con su correspondiente servidor Internet).

<http://www.usgs.gov/>

En este servidor se puede obtener abundante información geológica norteamericana, mapas geológicos, bases de datos, datos hidrogeológicos, abundantes publicaciones, que nos pone a disposición este servicio público norteamericano.

Pero no sólo los organismos públicos ponen a disposición sus servicios a través de esta red, las empresas privadas tienen aquí unas enormes posibilidades de darse a conocer a muy bajo coste de mantenimiento, un ejemplo de un servidor de este tipo lo tenemos el que nos da SCHLUMBERGER cuya dirección es:

<http://www.slb.com/>

En este servidor podemos obtener abundante información de esta empresa, productos, proyectos, ofertas de trabajo, etc. Otra empresa que pone a disposición sus servicios es RockWare Incorporated, empresa dedicada a la realización de software geológico, en este servidor se puede obtener un interesante catálogo de aplicaciones para

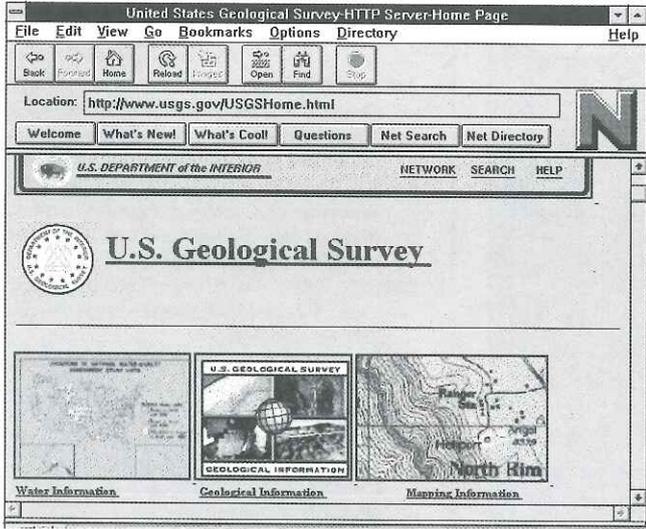


Fig. 4. Imagen que presenta la «Home page» del U.S. Geological Survey.

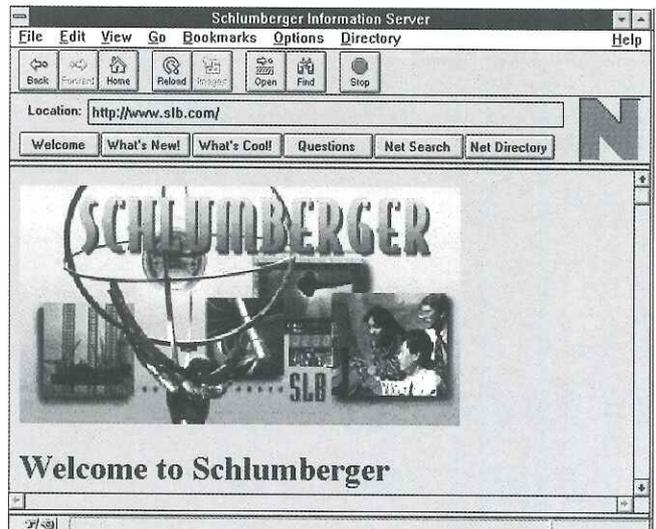


Fig. 5. Aspecto que presenta el servidor de la compañía Schlumberger.

minería, petróleo, medioambiente, aplicaciones para educación, etc., su dirección en Internet es:

<http://www.aescon.com/rockware/Index.htm>

Otra interesante dirección por su interactividad es un servidor que nos da información sobre los últimos terremotos

ocurridos en el mundo, su localización, latitud, longitud, intensidad, profundidad, además de mapas activos en donde se puede observar en un mapa su localización geográfica. Su dirección es:

<http://quake.wr.usgs.gov/QUAKES/CURRENT/current.html>

La información del último terremoto

destructor que ocurrió en las proximidades de la isla rusa de Sajalin o el ocurrido en Grecia está disponible, tenemos los siguientes datos además de los diez últimos terremotos al día 15 de junio de 1995.

Se puede observar los datos extraídos de este servidor a continuación:

```

Login name: quake                               In real life: see Ray Buland
Directory: /home/gldfs/quake                   Shell: /home/gldfs/quake/run_quake
Last login Thu Jun 15 04:13 on tty9 from EMAIL.LIVORNO.AR
New mail received Wed Jun 14 16:18:22 1995; unread since Mon Jun 12 08:18:55 1995
    
```

Plan:

The following near-real-time Earthquake Bulletin is provided by the National Earthquake Information Service (NEIS) of the U. S. Geological Survey as part of a cooperative project of the Council of the National Seismic System. For a description of the earthquake parameters listed below, the availability of additional information, and our publication criteria, please finger qk_info@gldfs.cr.usgs.gov.

Updated as of Wed Jun 14 19:42:18 MDT 1995.

DATE - (UTC) - TIME	LAT	LON	DEP	MAG	Q	COMMENTS
yy/mm/dd hh:mm:ss	deg.	deg.	km			
95/06/11 09:02:53	63.28N	151.28W	33.0	3.5Ml	A	CENTRAL ALASKA
95/06/11 13:24:01	60.45N	142.49W	33.0	3.7Ml	C	SOUTHERN ALASKA
95/06/11 18:51:47	39.98N	21.53E	10.0	4.9Mb	A	GREECE
95/06/11 19:20:50	11.59N	125.71E	33.0	5.4Ms	B	SAMAR, PHILIPPINE ISLANDS
95/06/11 21:55:49	32.68N	69.73E	33.0	5.6Ms	B	PAKISTAN
95/06/12 03:35:48	8.33S	75.75W	33.9	5.7Mb	A	CENTRAL PERU
95/06/12 14:47:59	39.14N	95.34E	33.0	4.8Mb	A	GANSU, CHINA
95/06/12 17:23:59	61.19N	138.53W	33.0	4.9Mb	A	S YUKON TERRITORY, CANADA
95/06/12 21:23:06	36.32N	118.03W	5.0	3.5Ml	A	CENTRAL CALIFORNIA
95/06/12 22:18:49	19.58N	109.13W	10.0	4.6Mb	B	REVILLA GIGEDO ISLANDS REGION
95/06/12 23:31:50	51.24N	176.73W	33.0	4.9Mb	A	ANDREANOF ISL, ALEUTIAN IS.
95/06/13 10:42:42	53.18N	142.58E	33.0	5.3Mb	B	SAKHALIN ISLAND
95/06/13 21:35:03	52.97N	142.78E	33.0	5.3Mb	A	SAKHALIN ISLAND
95/06/14 05:43:39	11.56N	88.70W	33.0	5.2Mb	A	OFF COAST OF CENTRAL AMERICA
95/06/14 11:11:47	12.05N	88.29W	33.0	6.0Mb	A	OFF COAST OF CENTRAL AMERICA
95/06/14 11:15:04	12.08N	88.10W	33.0	5.7Mb	A	OFF COAST OF CENTRAL AMERICA
95/06/14 12:37:06	63.10N	150.01W	33.0	3.6Ml	A	CENTRAL ALASKA
95/06/14 16:12:59	24.62S	69.88W	48.7	5.6Mb	A	NORTHERN CHILE
95/06/14 17:32:01	2.89S	79.92W	33.0	4.8Mb	B	NEAR COAST OF ECUADOR
95/06/15 00:15:51	38.37N	22.16E	33.0	6.5Ms	A	GREECE
95/06/15 00:31:04	38.39N	22.47E	33.0	5.5Mb	A	GREECE

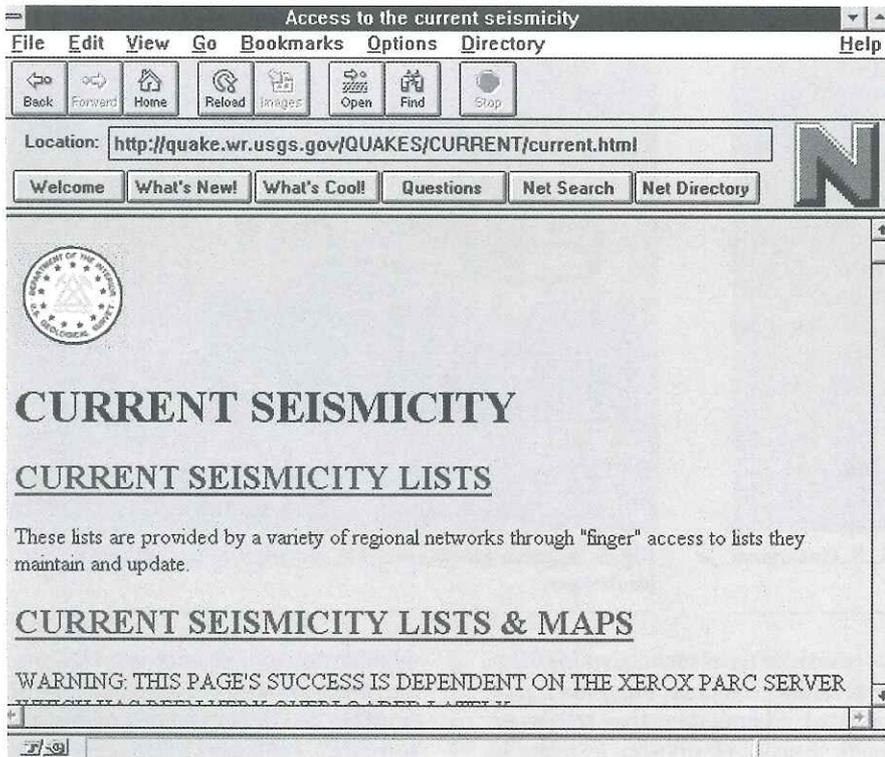


Fig. 6. Aspecto de la pantalla que presenta este servidor que nos da información sobre los últimos terremotos ocurridos en el mundo. Es un servicio del U.S. Geological Survey.

Este servidor se enlaza con otro muy interesante que nos da un mapa de la localización de un terremoto, es una aplicación desarrollada por la empresa Xerox, en el cual se obtiene en pantalla un mapa en que se puede observar el epicentro del terremoto, la característica más interesante es que si pulsamos cualquier parte del mapa ésta se amplía o se reduce según escojamos en las opciones previas. En la Figura 7 podemos observar en el mapa la localización del último terremoto destructor que afectó Grecia (los datos los podemos observar en la tabla anterior) el pasado día 15 de junio. Existen otras aplicaciones geográficas desarrolladas con el Xerox PARC Map Viewer, pero ésta es sin duda la que más nos puede interesar, la dirección de este servidor es:

<http://pubweb.parc.xerox.com/>

Las posibilidades de Internet como se puede observar son enormes, existe una abundante y variada información sobre diversos temas de las ciencias de la tierra y el Medio Ambiente por la cual se puede navegar. En la actualidad es posible realizar investigaciones con grupos de trabajo distribuidos por todo el mundo sobre los temas más diversos, se pueden obtener datos, programas, imágenes, que anteriormente al desarrollo de esta red por la dificultad de la localización y el transporte eran antes impensables, ahora

todo esto nos es accesible en un tiempo realmente increíble. Internet ha abierto una nueva ventana a las múltiples posibilidades de investigación de las ciencias de la tierra y el Medio Ambiente, las posibilidades técnicas de su utilización sólo tienen el límite de nuestra imaginación. ■

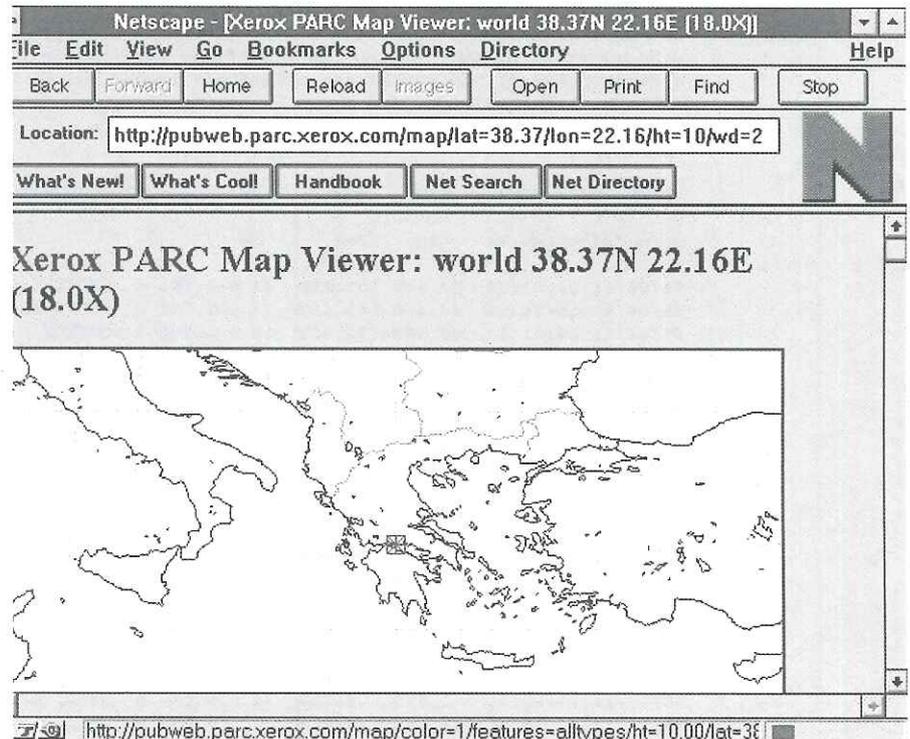


Fig. 7. Mapa de localización del último terremoto que afectó a Grecia (15-6-1995).

Alguna bibliografía de introducción a Internet

ABOBA, BERNARD: The Online User's Encyclopedia: Bulletin Boards and Beyond. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1993. 806 pp. ISBN 0-201-62214-9.

BADGETT, TOM AND SANDLER, COREY: Welcome To... Internet: From Mystery to Mastery. New York: MIS: Press, 1993. 324 pp. ISBN 1-55828-308-0.

BRAUN, ERIC: The Internet Directory. New York: Fawcett Columbine, 1994. 704 pp. ISBN 0-449-90898-4.

DERN, DANIEL P.: The Internet Guide for New Users. New York: McGraw-Hill, Inc., 1994. 570 pp. ISBN 0-07-016511-4 (PBK).

FRAASE, MICHAEL: The PC Internet Tour Guide: Cruising the Internet the Easy Way. Chapel Hill, NC: Ventana Press, 1994. 284 pp. ISBN: 1-56604-084-1.

GARDNER, JAMES: A DOS User's Guide to the Internet: E-mail, Netnews, and File Transfer with UUCP. Englewood Cliffs, NJ: P T R Prentice Hall, 1994. 308 pp. ISBN 0-13-106873-3.

HAHN, HAHN and STOUT, RICK: The Internet Complete Reference. New York: Osborne McGraw-Hill, 1994. 818 pp. ISBN 0-07-881980-6.

QUARTERMAN, JOHN S. and CARL-MITCHELL, SMOOT: The Internet Connection: System Connectivity and Configuration. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1994. 271 pp. ISBN 0-201-54237-4.

SACHS, DAVID and STAIR, HENRY: Hands-on Internet: A Beginning Guide for PC Users. Englewood Cliffs, NJ: P T R Prentice Hall, 1994. 274 pp. ISBN 0-13-056392-7.

SANZ, M. A. (1994): A, B, C de Internet. RedIRIS - Boletín de la red nacional de I+D, (28), 15-30.

INFORMATICA

A continuación en esta sección se describirá algún programa geológico que se recopilará por alguna de las innumerables BBS del mundo. El programa de este número es un programa muy útil en geología Triplot 2.0, Copyright © 1993 by Steve J. Baedke and Todd A. Thompson la versión analizada es un Shareware es decir tenemos 30 días de plazo para probarlo luego deberemos pagar una licencia de \$25 dólares para obtener la copia oficial. Este programa nos permite realizar diagramas ternarios tan utilizados en geología bajo el entorno Windows. Su aspecto es muy agradable y es de muy fácil utilización.

Los datos se introducen en las celdillas (Fig. 1) o se pueden importar ficheros de texto, TXT, DAT, o copiar y pegar por el porta papeles de Windows de otras fuentes como hojas de cálculo y procesadores de textos.

A cada uno de los datos podemos añadir un símbolo identificador. Las gráficas generadas se pueden copiar y pegar en otros documentos como ha sido el caso de este artículo o bien exportarlas en formato .BMP de Windows.

Además podemos realizar el diagrama ternario que queramos definiendo cada uno de los tres ejes Fig. 2. Este programa tiene una serie de plantillas que podemos utilizar de diversos modelos de diagramas, también es posible pedir por encargo alguna plantilla especial a los autores si queréis ponerlos en contacto con los ellos su e-mail: sbaedke@ucs.indiana.edu. Las planti-

llas que acompañan este programa se pueden observar a continuación.

Tamaño de grano de sedimento

gsg-folk.ovl Gravel, mud, and sand from Folk (1954).

gss-folk.ovl Sand, clay, and silt from Folk (1954).

gs-usda.ovl Clay, sand, and silt U.S. Department of Agriculture (1950).

gs-shep.ovl Clay, sand, and silt from Shepard (1954).

Composición de sedimento

ss-folk.ovl Quartz, feldspar, and rock fragments from Folk, Andrews, and Lewis (1970).

Composición de rocas ígneas (de la Elsevier's Mineral Rock Table, 1982)

ig-charn.ovl Quartz, alkali-feldspars, and plagioclase classification of charnockites

ig-gabb1.ovl Plagioclase, pyroxene, and olivine classification of gabbros

ig-gabb2.ovl Plagioclase, pyroxene, and hornblende classification of gabbros

ig-ultr1.ovl Olivine, orthopyroxene, and clinopyroxene classification of ultramafics

ig-ultr2.ovl Plagioclase, pyroxene, and hornblende classification of ultramafics

Rocas carbonaceas (de las Elsevier's Mineral Rock Table, 1982)

carbon.ovl Pelite, humulith, and saprolith classification of carbonaceous rocks

La valoración de este sencillo programa es muy buena ya que su sencillo manejo y su buena ayuda (en ingles), hace que realizar un diagrama ternario sea bastante fácil. Si queréis más información existe una copia de este programa a disposición en el I.C.O.G.

También en este apartado se pretende aportar en todos los números de la revista una selección de algunas direcciones interesantes en Internet brevemente comentadas que sean útiles a los profesionales de las ciencias de la tierra y el Medio Ambiente, esperamos vuestros comentarios y si sabéis de alguna interesante ponerlos en contacto con el Colegio. En esta selección se han escogido diversos direcciones diferenciadas por temas de investigación diferentes con el fin de satisfacer parte de vuestra curiosidad.

Geofísica:

<http://earth.agu.org/kosmos/homepage.html>

Esta es la dirección de la American Geophysical Union, una institución con 31.000 miembros distribuidos en 117 países, aquí podemos obtener información de nuestro planeta, océanos, atmósfera, espacio, planetas.

Espeleología:

<ftp://speleology.cs.yale.edu/>

Este es un servidor para los amantes de la espeleología, es muy interesante, se pueden conseguir programas para realizar levantamientos topográficos de una cueva, imágenes, direcciones de

	Sample	Gravel (> 2mm)	Mud (< 0.0625 mm)	Sand (0.0625 - 2 mm)	Point
1	Muestra 1	10	20	30	+
2	Muestra 2	20	30	10	×
3	Muestra 3	30	10	20	△
4	Muestra 4	10	0	0	▽
5	Muestra 5	0	10	0	□
6	Muestra 6	0	0	10	◇
7	Muestra 7	10	10	10	○
8	Muestra 8	20	20	60	■
9	Muestra 9	20	60	20	▲
10	Muestra 10	60	20	20	▼
11					▽

Fig. 1. Celdillas para introducir los datos.

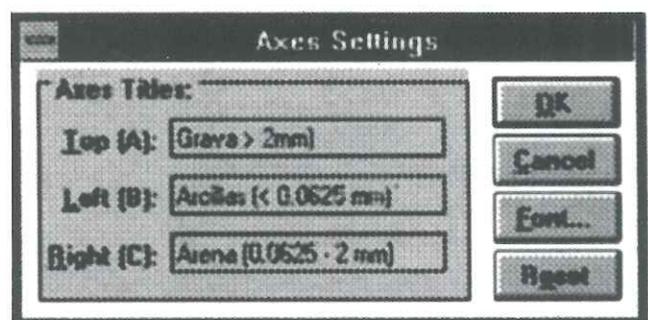


Fig. 2. Se pueden seleccionar el tipo de ejes muy fácilmente.

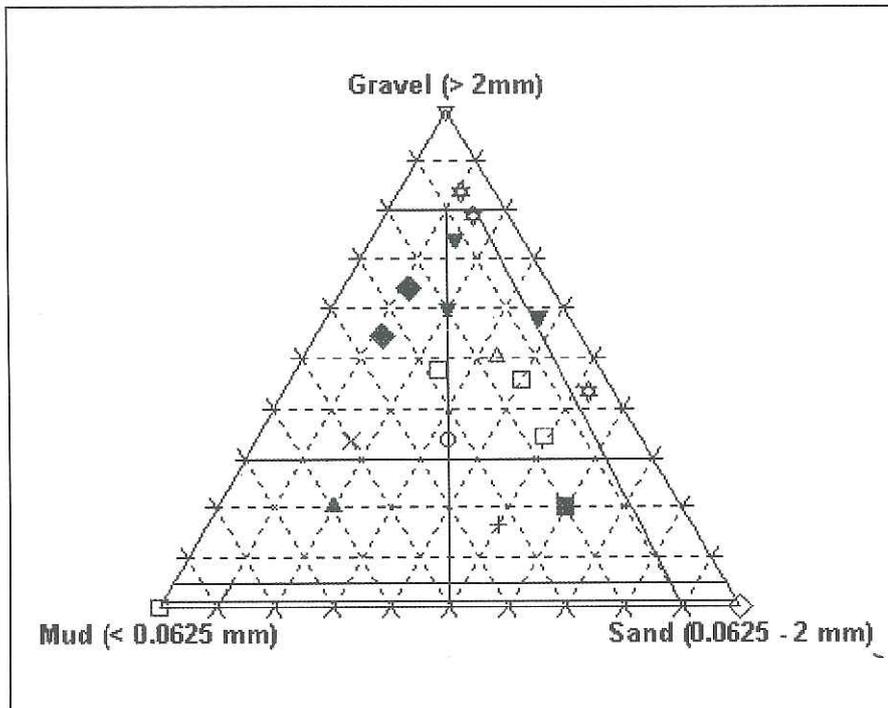


Fig. 3. Ejemplo de plantilla de un diagrama ternario de Folk (1954) para tamaño de grano de sedimentos. Grava, arena y arcillas.

asociaciones de espeología distribuidas por el mundo, archivos de cuevas, etc. Toda una sima de recursos.

GIS:

<http://ageninfo.tamu.edu/geoscience.html>

Información de GPS y sensores remotos.

<ftp://sideshow.jpl.nasa.gov>
(128.149.70.41)

GPS satélite órbitas, en este servidor de la Nasa podemos obtener abundante información de órbitas de satélites además de otros interesantes datos.

Geoplanetología:

<http://fi-www.arc.nasa.gov/fia/projects/bayes-group/Atlas/Mars/>

Para los amantes de la geoplanetología, es mejor verlo, sólo os cuento que hay un atlas de Marte muy interesante.

Geoestadística:

<ftp://math.arizona.edu/pub/geostat>
Librería de recursos aplicados a la geoestadística.

Meteorología:

<http://rs560.cl.msu.edu/weather/>
Mapas de satélites, mapas del tiempo, animaciones meteorológicas de diversos satélites.

Bibliotecas:

<gopher://marvel.loc.gov:70/11/global/sci/geo>

Este es el servidor de la librería del Congreso de los EE.UU., se puede obtener información de Geología, Oceanografía, y Climatología.

Museos:

<http://ucmp1.berkeley.edu/>

Museo de Paleontología de la Universidad de Berkley California, es un interesante ejemplo de un museo que aplica recursos multimedia, vale la pena visitarlo.

Vulcanología:

<ftp://mojave.wr.usgs.gov/pub/spurr/Spurr.htm>

Erupción del Monte Spurr, un Volcán de Alaska, fotografías de la erupción de 1992.

Otro servicio Internet interesante son las News, a continuación van algunos de los muchos foros de debate en geología y ciencias afines.

<sci.geo.hydrology>

Grupo de News para Hidrogeología.

<sci.geo.fluids>

Grupo de News de fluidos en Geofísica.

<sci.geo.geology>

News de Geología.

<sci.geo.petroleum>

Grupo de News de Geología del Petróleo.

<sci.engr.civil>

Grupo de News de Ingeniería Civil. ■

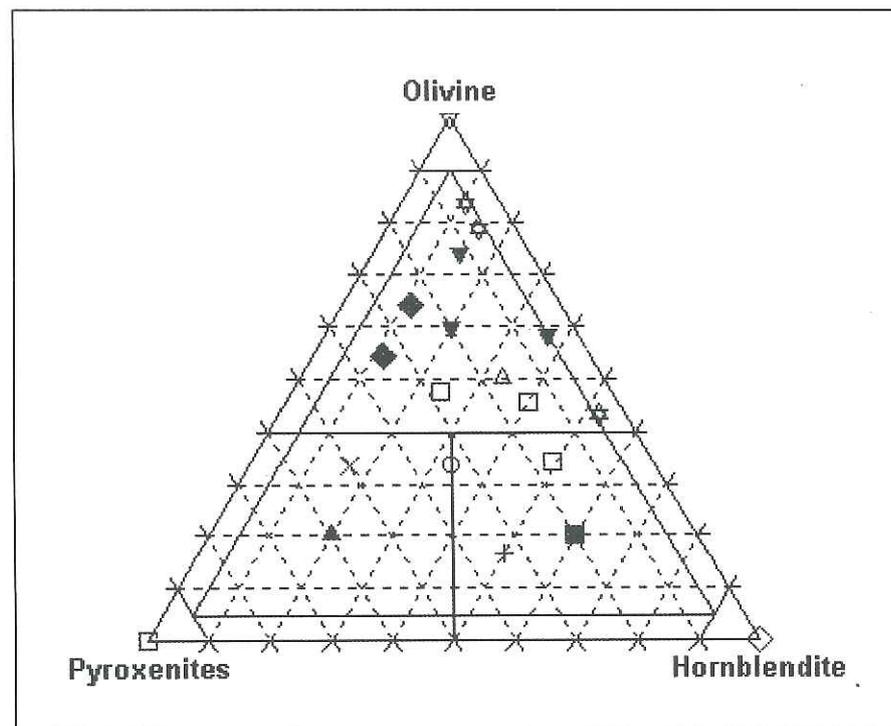


Fig. 4. Ejemplo de plantilla de un diagrama ternario para rocas ultramáficas.

LA NUEVA REGULACION JURIDICA DE LA SECCION A) DE LA LEY DE MINAS



Luis E. Suárez Ordóñez

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo en 1978. Geólogo por el ICOG. Diplomado en Ingeniería Geológica por la U.C.M. en 1984. Licenciado en Derecho por la UNED en 1986. Master en Ingeniería Geológica por la UCM en 1993. Ha desarrollado su trabajo profesional en el área de ingeniería geológica, áridos y medio ambiente. Actualmente desempeña el cargo de Jefe de Geotecnia de la Dirección Técnica de Infraestructuras de RENFE. Presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España y vocal de la Asociación Española de la Geología Aplicada a la Ingeniería (AEGAIN).

El presente artículo trata del desarrollo histórico de la Sección A de la Ley de Minas, hasta la publicación del actual R.D. 107/1995.

The article deals with the historical development of the Section A of the Mining law until the recent publication of the current R.D. 107/1995.

Por diversos autores, entre ellos el que suscribe el presente artículo, se ha puesto de manifiesto los difusos límites jurídicos entre las diferentes Secciones de la Ley de Minas, en concreto entre la Sección A) y la Sección C), comprendiendo esta última «cuantos yacimientos minerales y recursos geológicos no estén incluidos en las Secciones A) y B) («las aguas minerales, las termales, las estructuras subterráneas, y los yacimientos formados como consecuencia de operaciones regulada por esta Ley» (de Minas), ni tampoco en la Sección D), que desgajada en la C) en 1980, comprende «el carbón, los minerales radiactivos, los recursos geotérmicos, las rocas bituminosas y cualquiera otros yacimientos minerales o recursos geológicos de interés energético, que el Gobierno acuerde incluir en esta sección». Esta inseguridad jurídica de la regulación de las Secciones A y C no es baladí, dado que las consecuencias jurídicas y económicas de la pertenencia a una y otra sección son muy distintas. Así, «el aprovechamiento de los recursos de la Sección A), cuando se encuentren en terrenos de propiedad privada, corresponderá al dueño de los mismos, o a las personas físicas o jurídicas a quien ceda sus derechos», mientras que los permisos de exploración y/o investigación y las concesiones de explotación de la Sección C se otorgarán a quien lo solicite, de acuerdo con las condiciones y requisitos reguladas por la Ley de Minas.

A fin de evaluar la reciente regulación jurídica de la Sección A) de la Ley de Minas, resulta ilustrativo el desarrollo histórico de la legislación minera desde la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas. En esta Ley, en su artículo 3.1., dice que pertenecen a la

Sección A, «los yacimientos minerales y demás recursos geológicos de escaso valor económico y comercialización geográfica restringida, así como aquellos cuyo aprovechamiento único sea el de obtener fragmentos de tamaño y forma apropiados para su utilización directa en obras de infraestructura, construcción y otros usos que no exigen más operaciones que las de arranque, quebrantado y calibrado», criterios que son refrendados casi textualmente por el artículo 5.º 1 del Reglamento General del Régimen de la Minería. Dado el carácter generalista de esta regulación, el artículo 3.3. de la Ley de Minas tipifica que por delegación «los criterios de valoración precisos para configurar la Sección A) serán fijados mediante Decreto acordado en Consejo de Ministros, a propuesta del de Industria».

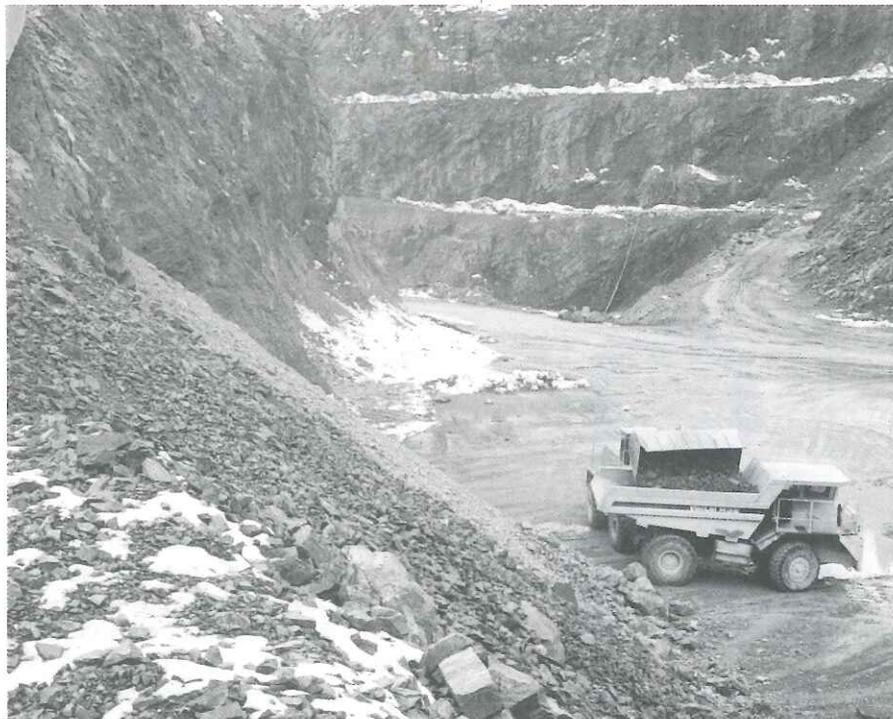
Desde la promulgación de la Ley de Minas en 1973, el Consejo de Ministros ha dictado sucesivamente tres Decretos por el que se fijan criterios de valoración para configurar la Sección A) de la Ley de Minas.

El primero el R.D. 1747/1975, de 17 de julio, en su artículo 1 a) precisa que, la utilización directa de tamaños y formas apropiados, sea «como áridos destinados a la fabricación de hormigones y usos de naturaleza análoga, sin transformar el producto». Con ello se restringe, al menos a nivel teórico, la utilización directa de los yacimientos en obras de infraestructura, construcción y otros usos a los áridos para hormigones y usos de naturaleza análoga. Si se interpreta jurídicamente en sentido estricto la sentencia «usos de naturaleza análoga» a los áridos para hormigones, se debería entender que los productos de naturaleza análoga, son los destinados a la fabricación de mor-

teros, reboques, aglomerantes asfálticos, ... Esta regulación efectuada por este Real Decreto 4019/1982, de 15 de diciembre, solamente modificada sustancialmente por el primer R.D. en la determinación del valor anual de venta de sus productos (hasta 25 millones/año).

Con el referido Real Decreto 107/1995, de 27 de enero, se da un giro copernicano a la regulación jurídica, dado que «los destinados a la fabricación de hormigones y usos de naturaleza análoga», del Real Decreto 1747/1975, denominados en el nuevo Real Decreto como «yacimientos de recursos minerales en explotación, no incluidos en los de valor económico y comercialización geográfica restringida del artículo 1.1b. cuya producción se destina a la fabricación de hormigones, morteros y reboques, aglomerantes asfálticos u otros productos análogos o bien estén sometidos a un proceso que exceda de arranque, quebrantado y calibrado, se exceptúan de estar incluidos en la Sección A). Con ello se pasan a la Sección C, todos los áridos para fabricación de hormigones y usos de naturaleza análoga, que estén en explotación, dado que con la corrección de errores del Real Decreto 107/1995, se restringe la excepción a los que están en explotación.

En consecuencia, se puede concluir lo siguiente acerca de la regulación de la Sección A de la Ley de Mi-



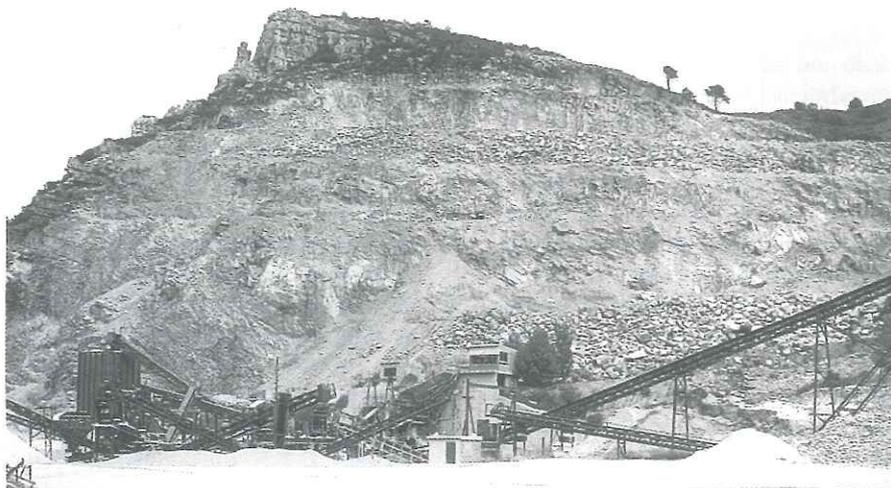
nas, de acuerdo con el Real Decreto 107/1995:

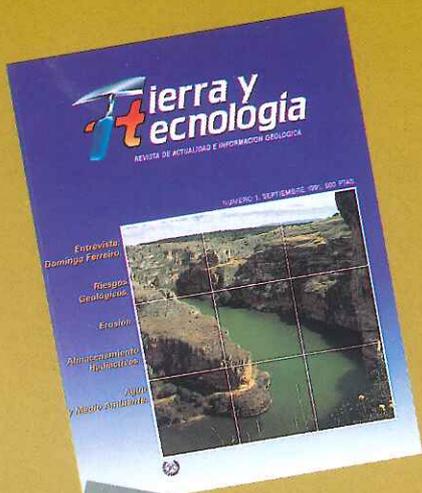
1.—Recoge la letra y el espíritu del artículo 3.1.A de la Ley de Minas, que reproduce textualmente, y que el R.D. 1747/1975 había desvirtuado al introducir torticeramente «los áridos destinados a la fabricación de hormigones y usos de análoga naturaleza», dado que la redacción «utilización directa en obras de infraestructura que no exijan más operaciones que las de arranque,

quebrando y calibrando», excluye a las operaciones más complejas necesarias para la fabricación de hormigones y usos análogos.

2.—Aunque de la interpretación jurídica del R.D. 1747/1975 se deduce que sólo los áridos para hormigones y usos de naturaleza análoga pertenecerían a la Sección A), la práctica jurídica minera consideraba en esta Sección, los yacimientos realmente regulados en la Ley de Minas y los «añadidos» por el R.D. 1747/1975, por lo que no ha quedado vacío de recursos geológicos de la Sección A) en lo referente a su apartado a) del artículo 1 del referido Real Decreto.

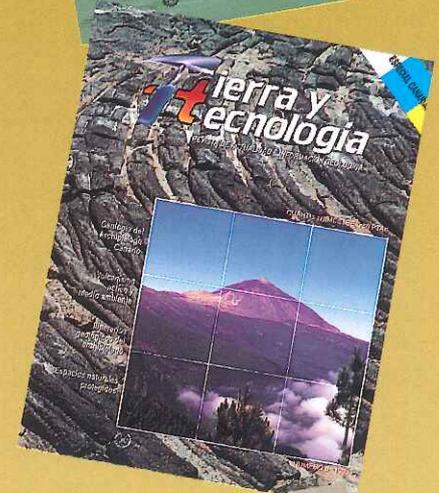
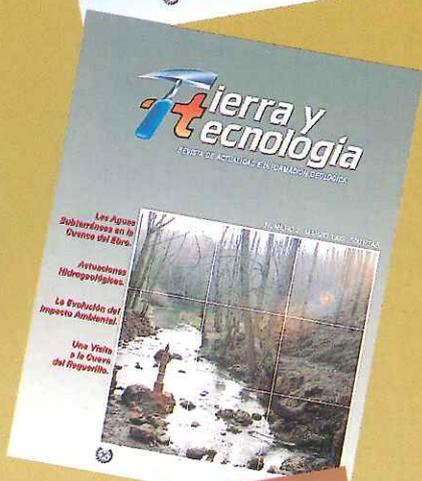
3.—No obstante, el R.D. 107/1995, con lo expresado en la corrección de errores que restringe la excepción a los recursos minerales en explotación, crea un verdadero desencaje jurídico que augura una difícil aplicación práctica, dado que la ley no respeta los derechos adquiridos de los propietarios de recursos minerales en explotación y, en cambio, obligan a permanecer con la Sección A las futuras explotaciones. Por ello, pensamos que publicar una norma que regula con unos derechos las explotaciones en activo y con otra normativa las futuras explotaciones, es el síntoma de un derecho transitorio que reclama con urgencia una regulación clara y nítida en la necesaria Ley de Bases de Minería prevista en el artículo 149.25 de nuestra Constitución. ■



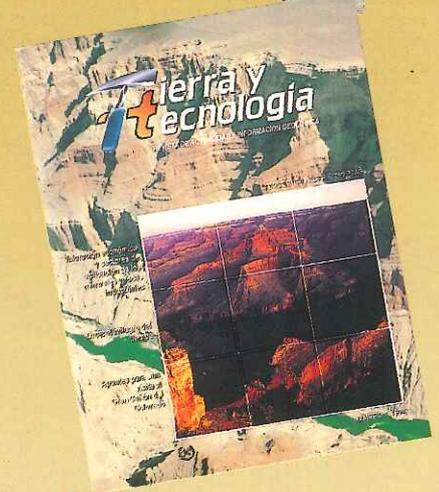
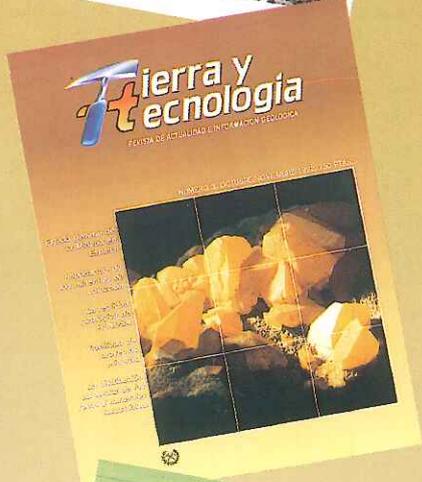


TIERRA Y TECNOLOGIA

3.000



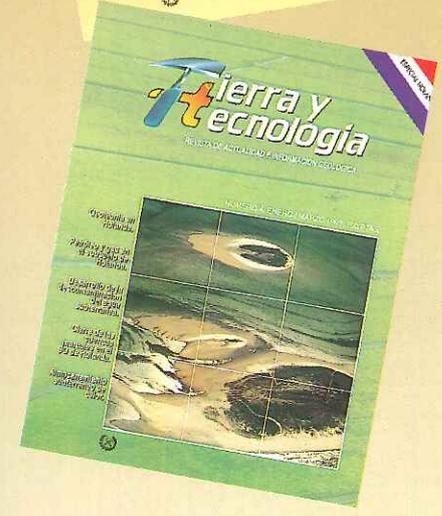
Ejemplares que se distribuyen a entidades Públicas y Privadas de los siguientes sectores:



- Medio Ambiente
- Ingeniería Geológica
- Teledetección y SIG
- Exploración Minera
- Recursos Minerales
- Hidrogeología
- Hidrocarburos
- Geofísica
- Mineralogía
- Construcción y auxiliar
- Energía eléctrica, agua y gas
- así como a otros sectores relacionados con las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente

**Pero...,
¿no sabe como
anunciarse?
no lo piense más**

contacte con:
Dpto. Publicidad
Telf.: (91) 553-24-03 (3) líneas



**ASOCIACION DE INGENIEROS DE MINAS,
METALURGISTAS Y GEOLOGOS DE MEXICO, A. C.**

**CONVENCION
LA MINERIA EN EL SIGLO
REUNION INTERNACIONAL**

XXI

**Octubre 18 al 21, 1995
Acapulco, México.**

**CONFERENCIAS
Y FORO DE MINERIA**

**CONGRESOS Y SEMINARIOS
DE PRIMER NIVEL**

**TECNOLOGIA DE VANGUARDIA
EN LA EXPOSICION DE
EQUIPO Y MAQUINARIA**



INSCRIPCIONES Y HOTELES:
Jaime Torres Bodet Núm. 176
Col. Sta. María la Ribera
Deleg. Cuauhtémoc, C:P: 06400
Tels.: 547-1473, 547-1094, 547-0751
Fax. 547-0707