

# El geólogo geofísico

*Enrique Aracil Ávila*

Profesor del Área de Ingeniería del Terreno  
Universidad de Burgos

## Para qué sirve la geofísica

La geofísica es una ciencia que se dedica al estudio de la estructura física y las propiedades de la Tierra y, especialmente, a la aplicación de diferentes técnicas y métodos de investigación para el conocimiento de las propiedades físicas del subsuelo. Podría decirse que la geofísica es una rama común de la geología y la física. Comparte con la primera la búsqueda del conocimiento de las características de la Tierra y, con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y principios para la investigación de las características bajo superficie. En términos muy generales, el geólogo se sirve de la geofísica para investigar indirectamente el subsuelo, es decir, todo lo que se encuentra por debajo de la superficie y, consecuentemente, está oculto.

Por medio de la prospección geofísica se determinan, a partir de distintos aparatos, diferentes propiedades físicas y físico-químicas del subsuelo. El análisis de esas propiedades, la cuantificación de sus valores, la observación de la distribución de éstos, así como de la presencia o no de anomalías constituye, en conjunto, la investigación geofísica del subsuelo. Para poder "traducir" ese conjunto de valores físicos o físico-químicos a un modelo geológico será necesario contar con información geológica de contraste que, una vez integrada con los resultados geofísicos, permita conocer cómo es el subsuelo.

El geólogo geofísico se vale de su formación geológica y de sus conocimientos de las propiedades físicas y físico-químicas de los materiales para poder hacer esa "traducción"

anteriormente comentada con el criterio geológicamente más coherente. En este sentido, se podría decir que tiene una ventaja sobre el resto de especialistas en geofísica (físicos, ingenieros de minas) ya que su formación geológica es bastante mayor lo que se traduce en una mayor facilidad y coherencia geológica a la hora de interpretar los resultados geofísicos obtenidos en una determinada campaña. Probablemente, la base que tiene el geólogo geofísico sobre conocimientos físicos sea menor que la de los técnicos anteriormente citados pero queda compensada con creces esta ligera deficiencia por esa mayor capacidad de interpretar los resultados desde un punto de vista más geológico.

A la vista de lo aquí expuesto, la geofísica sensu stricto sirve para tener conocimientos sobre las características físicas de los materiales que forman el subsuelo y sobre las formas de análisis e interpretación de los resultados obtenidos tras la prospección geofísica de las diferentes propiedades de esos materiales. La prospección geofísica aplicada, como su propio nombre indica, no es más que la aplicación de la geofísica y los métodos geofísicos para realizar una prospección del subsuelo de una zona determinada.

## El trabajo que realiza

El geólogo geofísico realiza un trabajo que podría considerarse de gran interés por dos motivos principales: por un lado, porque con su trabajo contribuye a la investigación de lo que está oculto y, por otro, porque su aportación es muy útil para numerosos especialistas en la materia, es decir, que tiene una contribución multidisciplinar.

Una vez realizadas estas dos indicaciones que permiten evaluar de forma muy generalista el trabajo del geólogo-geofísico, conviene concretar el tipo de tareas que lleva a cabo para poder conocer mejor su labor técnica y científica. El grueso de este trabajo consiste en la implantación de diferentes dispositivos sobre el terreno para, una vez obtenidas las lecturas pertinentes, procesar la información de estos datos e interpretarlos con el fin de aportar algo de "luz" al "oscuro" ambiente que es el subsuelo. Pero, como antes se ha indicado, esto es solamente una de las etapas, la correspondiente a la adquisición y procesado que, ni mucho menos, se presentan de forma aislada sino acompañada de otras etapas. En mayor o en menor medida, todas ellas contribuyen al trabajo final del geólogo geofísico y todas ellas son importantes.

Ordenadas de forma cronológica todas estas etapas, quedarían relacionadas de la siguiente manera:

1. Obtención de información sobre la zona de trabajo.
2. Selección del método geofísico más adecuado.

3. Campaña de adquisición de datos del subsuelo.
4. Procesado de los datos adquiridos.
5. Integración de toda la información e interpretación de los resultados.
6. Redacción del informe final.

1. Información sobre la zona de trabajo. Esta fase constituye, lógicamente, la primera de todas y es aquella en la que el geólogo geofísico indaga en las "bases de datos" de un área determinada con el propósito de obtener un primer conocimiento de las características de la zona donde se tiene que realizar el trabajo. Estas características que deben conocerse son muy variadas y podrían diferenciarse en características de tipo logístico y de tipo geológico.

Desde el punto de vista logístico, el geólogo geofísico no deberá descuidar nunca la labor de reconocimiento general de la zona que pretende investigar, es decir, conocer si hay accesos y cómo son; ver si el terreno es abrupto o es practicable; ver si hay vegetación que impida el emplazamiento de los dispositivos o si esta vegetación es lo suficientemente dispersa como para poder transitar entre ella.

Desde el punto de vista geológico, el geólogo geofísico tiene un trabajo muy importante: intentar conocer cuáles son los principales rasgos geológicos de la zona de estudio ya que es muy importante saber en qué rango de profundidades se encuentra el objetivo, si existe fracturación u otra serie de aspectos que deban tenerse en consideración a la hora de plantear los dispositivos, como es la dirección preferente de esa fracturación así como de la estratificación y del plegamiento. Para ello, deberá hacerse una recopilación de la documentación existente lo más exhaustiva posible. Esta fase puede llevar un cierto tiempo pero no cabe duda que la información que es capaz de aportar va a ayudar tanto que la duración de esta primera etapa no deberá preocupar si se extiende mucho. Lógicamente, una vez recopilado todo lo necesario deberá realizarse un análisis de toda esa información.

2. Selección del método geofísico. Consiste en la selección del método o de los métodos geofísicos que se consideran más adecuados para cubrir el objetivo. Lo más lógico y habitual es que esta fase de trabajo se pueda realizar pero, en numerosas ocasiones, el método prospectivo viene solicitado por el cliente lo cual implica una ventaja y un inconveniente. La ventaja se debe a que no hay que dedicar tiempo a esta fase pues ya viene cubierta por el cliente al ser éste el que propone o solicita directamente el tipo de investigación que desea para cubrir el objetivo. El inconveniente, sin embargo, radica en la dificultad o imposibilidad de cambiar el método solicitado por otro método geofísico distinto que se acomode mejor a las necesidades del objetivo o a las características de la zona de trabajo.

En cualquier caso, es conveniente que el geólogo geofísico analice las características del objetivo perseguido y determine cuál es el método o los métodos más adecuados para alcanzarlo, bien por el tipo de objetivo, bien por la profundidad a la que se espera encontrarlo o bien por las dimensiones del mismo o, incluso, por el presupuesto disponible para abordar los trabajos.

3. Campaña de adquisición de datos. Esta etapa podría considerarse como la de mayor importancia al ser el momento en el cual el geólogo geofísico procede a la obtención de los datos de campo que, tras su procesado, permitirá informar acerca de las características del subsuelo.

Para la realización de esta campaña de adquisición de datos en campo, el geólogo geofísico deberá realizar una serie de tareas complementarias, como es el caso, a veces de la solicitud y gestión de los permisos necesarios para poder realizar los trabajos en la zona de estudio. Aunque simplemente sean permisos de paso, en numerosas ocasiones el geólogo tiene que notificar su intención de hacer una serie de trabajos para evitar prohibiciones de ejecución de medidas que, con los equipos desplazados e, incluso, los dispositivos implantados en el terreno, a veces el geofísico se ve obligado a acatar. Si se trata de propiedades privadas, tendrá que comentar las intenciones con el propietario; si son públicas, con el ayuntamiento implicado. Si se trata de pasar o atravesar carreteras, en ocasiones deberá notificarlo al ayuntamiento, a la diputación o a la comunidad autónoma pertinentes. En definitiva, las gestiones administrativas no se escapan del ámbito de trabajo de un geólogo geofísico.

Otra de las etapas complementarias, pero que también hay que realizar de forma previa a los trabajos de adquisición de datos, es el desbroce de la maleza que, a veces de forma muy densa, cubre las zonas por donde hay que realizar las medidas, para lo cual habrá que realizar la apertura de vías de paso con las dimensiones suficientes como para permitir el paso del personal y los equipos.

La tercera actividad que el geólogo geofísico tiene que ser consciente que deberá realizar de manera complementaria es la señalización de los trabajos realizados en campo. Si bien actualmente hay una serie de herramientas que facilitan esta labor, muchas veces es recomendable, además, señalar las medidas realizadas (puntos de medida, comienzos y finales de perfiles, etc.) directamente en el terreno, como es el caso de las marcas con pintura reflectante y biodegradable, así como con cinta de obra. Las herramientas anteriormente indicadas que facilitan la señalización de la situación de los trabajos son, por ejemplo, los equipos portátiles receptores de señal GPS para obtención de las coordenadas más o menos exactas de los puntos medidos. También es posible indicarlo en mapas de diferentes escalas y, lo que suele ser más interesante, en fotografías aéreas.

La señalización lo más exhaustiva posible de la posición de los trabajos realizados es, por tanto, labor fundamental del geofísico, en tanto que unos buenos datos y unos buenos resultados carecerían de valor si no se encuentran referenciados correctamente.

Por lo que respecta a la medición de datos en campo propiamente dicha, que es lo que constituye la actividad principal del geólogo geofísico en esta fase del estudio, habría que destacar una serie de facetas importantes como son la calibración de los aparatos, la implantación de los dispositivos, la medición y la comprobación. Es lógico pensar que, para obtener buenas medidas en campo, es decir, medidas coherentes y reales, los aparatos de registro deberán estar calibrados, actividad esta que deberá hacerse de forma regular con el fin de mantener los sensores acordes con las prescripciones técnicas del fabricante.

Con los equipos calibrados, la actividad siguiente es la implantación de los dispositivos, es decir, situar sobre el terreno el aparato emisor, el receptor y los sensores de medida. Para ello, la base geológica del geólogo geofísico es fundamental para determinar las características geológicas del terreno y condicionar, con ello, la disposición sobre el terreno según un criterio geológicamente correcto, que deberá primar siempre sobre el criterio topográficamente más cómodo, ya que hay numerosas ocasiones en que lo geológicamente correcto es incompatible con lo topográficamente deseable. Los cambios bruscos de pendiente, los escarpes, los bancales, etc., son ejemplos de terrenos que deben evitarse para no introducir posibles elementos de error en los programas de procesado. Según estas indicaciones, el geólogo geofísico deberá tener siempre bien claro cuáles son las limitaciones de cada método, las circunstancias óptimas de cada dispositivo y las características de cada terreno y de cada objetivo con el fin de analizar, a veces directamente en campo, cómo realizar esa implantación de aparatos, cables y sensores.

4. Procesado de los datos. En esta etapa, el geólogo geofísico suele llevar un ordenador portátil al campo con el fin de realizar un primer procesado y comprobar, en una primera inspección, si los datos registrados son de buena calidad o han sufrido alteraciones de algún tipo que hayan causado la obtención de ficheros aparentemente erróneos. En este caso, este primer procesado consiste, realmente, en una revisión de la calidad de los datos geofísicos obtenidos. Una vez confirmado que los ficheros son aceptables, el geólogo geofísico los archivará para su posterior tratamiento en gabinete en lo que constituye el procesado final.

Este procesado requiere la aplicación de diferentes programas informáticos (en la actualidad resulta impensable la actividad manual de procesado de datos, fase que antiguamente llevaba mucho tiempo por la necesidad de comparar los datos con tablas, gráficos, estadillos, etc.). Estos programas suelen ser específicos de cada aparato o, en ocasiones, de

aplicación más generalista. En cualquier caso, el geólogo geofísico será conocedor de estos programas con el fin de poder sacar el máximo provecho de los datos obtenidos.

5. Integración de toda la información e interpretación de los resultados. Hasta esta fase podría decirse que las actividades desarrolladas pueden ser llevadas a cabo de forma aproximadamente equivalente tanto por físicos geofísicos, como por ingenieros geofísicos o por geólogos geofísicos, pero esta fase que se describe en este punto es ya de vital importancia que sea realizada o, cuando menos supervisada, por el geólogo geofísico, sin menoscabo de la formación que puedan tener los especialistas antes mencionados. La razón es que una labor de integración de toda la información existente del subsuelo para alcanzar la mejor interpretación geológica posible de los resultados parece lógico pensar que debe hacerse con una fuerte base de conocimientos de geología.

El geólogo geofísico deberá "echar el resto" en esta fase, que es primordial para llevar a cabo la "transformación" de los datos puramente físicos obtenidos en resultados geológicos, considerando que las variaciones que observe en los datos procesados pueden deberse a cuestiones geológicas como es el caso de los posibles cambios laterales de facies, variaciones de espesor por la situación dentro de la cuenca sedimentaria, la existencia de discordancias angulares y progresivas, etc.

6. Redacción del informe final. La labor de la redacción del informe final no debe ser considerada como la menos importante pues el geólogo geofísico deberá tener la suficiente soltura como para poder expresar cuáles han sido los trabajos realizados, describir la metodología empleada, desarrollar el capítulo correspondiente a los resultados obtenidos y expresar de forma clara y concisa las conclusiones a las que se ha llegado para poder establecer las pertinentes recomendaciones.

Todo esto en sí parece una obviedad pero es importante que el geólogo geofísico haga un esfuerzo por cuidar tanto la redacción como la presentación de los resultados. Para comprender y valorar estas indicaciones basta con no olvidar que la redacción del informe final constituye la exposición de todo el trabajo realizado en las fases anteriores.

Entre todo este conjunto de actividades que desarrolla el geólogo geofísico sería injusto no incluir otra labor que desarrolla en mayor o menor medida y es la actividad comercial. Es el técnico que mejor conoce lo que hace, cómo lo hace y para qué lo hace y, por tanto, es el técnico que mejor podrá "vender" su producto. La prospección geofísica goza de un buen concepto por muchos profesionales pero, al mismo tiempo, padece un desconocimiento, una "mala fama" e, incluso, un desprecio por parte de muchos. Es una tarea de gran importancia dar a conocer la existencia de la prospección geofísica y las posibilidades que ofrece así como sus ventajas e inconvenientes.

## Los conocimientos que aporta

La actividad que es capaz de desarrollar el geólogo geofísico aporta una información de gran importancia para el geólogo, ya que se trata de una información muy variada y diversa sobre el subsuelo, justo la que necesita para complementar los datos que obtiene éste en los trabajos que realiza en superficie. Se trata de una información muy variada en tanto que procede de prospecciones muy diferentes.

Pero para que el geofísico pueda aportar esta información de gran ayuda para el geólogo necesita que esta ayuda sea mutua. Conviene recordar que la prospección geofísica es una herramienta que se vale de la geología para poder interpretar los datos con mayor precisión y, consecuentemente, facilitar resultados más concluyentes. Un simple corte geoelectrico o un radargrama no aportan conclusiones tan resolutivas si no van acompañados de una interpretación desde el punto de vista geológico.

No obstante, aunque la situación más conveniente es el análisis de la información geológica de una zona conjuntamente con la información obtenida tras una campaña de prospección geofísica, la aportación de información "a ciegas" por parte del geólogo geofísico suele ser un método habitual, bien porque no existe información previa o bien porque no se dispone de ella.

Sin embargo, se puede exponer un tercer escenario y es precisamente el que resulta más perjudicial ya que todavía está muy extendida la idea de que debe ser el geofísico el que aporte la información sin "ayuda externa de la que pueda valerse para manejar los resultados a su conveniencia". El calificativo perjudicial lo es en tanto en cuanto se trata de un trabajo entre profesionales lo cual presupone seriedad y honradez en la investigación.

De un modo u otro, la aportación de conocimientos suele ser importante, tanto si es a escala regional como si es a escala más local. A partir de estudios regionales (como los realizados a partir de campañas de gravimetría, magnetismo, sísmica de reflexión, así como prospección eléctrica y electromagnética) el geólogo geofísico es capaz de aportar conocimientos, por ejemplo, acerca de la estructura que afecta y compartimenta una cuenca sedimentaria ya que se puede obtener un reflejo bastante fiel de disposición de las unidades geológicas, de la distribución de sus espesores, de la localización del depocentro, de la estructuración de la misma, etc.

Lógicamente, para ello es importante disponer de un conocimiento previo de los posibles espesores y naturaleza de las unidades geológicas que rellenan esa cuenca para poder ofrecer una información mucho más completa. Las técnicas más resolutivas (como

puede ser, por ejemplo, el caso de la sísmica de reflexión) permiten ver, incluso, términos evolutivos desde el punto de vista geológico ya que se pueden llegar a identificar secuencias sedimentarias, system-tracks, etc.

También, a partir de sus estudios realizados a escala tanto regional como local se puede llegar a determinar la presencia o no de fracturas, las características que las definen (anchura, desarrollo, contenido o no en agua, etc.), sus direcciones preferentes e inclinaciones y la posible compartimentación de una zona en bloques hundidos y elevados.

Tanto la información estratigráfica-sedimentológica como la información estructural son de gran ayuda para la hidrogeología ya que los conocimientos que aporta el geólogo geofísico no sólo facilitan la identificación acerca de la presencia, el espesor y la profundidad de posibles acuíferos sino también pueden aportar información sobre la calidad de sus aguas (es decir, si éstas pueden estar afectadas por la presencia de contaminación, por efecto de la salinización, etc.)

A una escala más reducida, por ejemplo, se puede determinar con mayor precisión la posición de planos de fractura, la profundidad estimada en el subsuelo de un determinado nivel de interés, la localización de sectores karstificados, etc. Ya a una escala más local, técnicas de prospección eléctrica y electromagnética son capaces de definir la trayectoria de canalizaciones o delimitar la extensión de una "pluma" de contaminación en el suelo o la identificación de "fugas" en una balsa o en un vertedero o la posición de una cavidad.

## Herramientas que utiliza

Para alcanzar ese conocimiento de las características del subsuelo, el geólogo geofísico se sirve de una instrumentación variada tanto en cuanto a la técnica como en cuanto al diseño, la complejidad y la sofisticación. Pero para que la interpretación se aproxime lo más posible a la realidad, el geofísico deberá combinar los datos que le aporte esa instrumentación con tres herramientas muy particulares: la lógica, la experiencia y la prudencia. En cuanto a la lógica pues es una "herramienta" de constante utilización por los geólogos; por lo que respecta a la experiencia, para aplicar en todo momento la técnica geofísica más adecuada para cubrir el objetivo perseguido y hacer la mejor interpretación posible de los resultados. Por último, deberá emplear la prudencia a la hora de hacer esa interpretación de los resultados.

El conjunto de instrumentos que utiliza el geólogo geofísico es muy variable (resistivímetros, gravímetros, sensores de muy baja frecuencia, etc.), en tanto que son muy diversas las propiedades físico-químicas que se analizan (diferencias en comportamiento eléctrico, diferencias de masa-densidad).

Al existir variaciones importantes en el comportamiento eléctrico de los materiales del subsuelo, se emplean resistivímetros para control de la resistividad, es decir, de la propiedad que indica la mayor o menor capacidad de los materiales para conducir la corriente eléctrica a su través. Estos resistivímetros, en su origen, eran aparatos manuales pero en los últimos años se han dejado, como no podía ser de otra manera, “contagiar” de los avances tecnológicos e informáticos y los fabricantes ofrecen desde entonces equipos totalmente digitales, con las consabidas ventajas que ofrece esta mejora en la tecnología. El empleo de resistivímetros se lleva a cabo para campañas de prospección geoelectrica mediante sondeos eléctricos verticales o perfiles de tomografía eléctrica, por ejemplo.

También, el geólogo geofísico emplea equipos que se basan en el principio del electromagnetismo para determinar las propiedades eléctricas de los materiales del subsuelo. Estos equipos los emplea, por ejemplo, cuando se trata de campañas de sondeos electromagnéticos o campañas de prospección con geo-rádar.

Los equipos sísmicos que utiliza el geólogo geofísico se basan en la medición de la velocidad de propagación de ondas sísmicas (o acústicas) en el subsuelo, tanto las que son refractadas en los contactos entre capas diferentes (sísmica de refracción) como las que son reflejadas en los mismos (sísmica de reflexión). Esta velocidad está condicionada, fundamentalmente, por la composición, el grado de compactación y la densidad de la roca.

Propiedades parecidas a estas últimas descritas son en las que se basa el método gravimétrico para el estudio de la estructura de una cuenca como para la búsqueda de cavidades (microgravimetría). Para ello se sirve de otro aparato, el gravímetro, que es capaz de medir diferencias de atracción gravitatoria de una masa conocida que se encuentra alojada de forma estanca en su interior.

Del mismo modo que se ha descrito para estos métodos geofísicos, existen otros aparatos de constante uso por el geólogo geofísico que se basan en otras propiedades de los materiales del subsuelo para analizarlos. Tal es el caso del magnetómetro (para hacer campañas de magnetometría), el VLF (para hacer campañas mediante ondas de muy baja frecuencia, very low frequency), etc.

## Con qué profesionales se relaciona

El geólogo geofísico se relaciona con un gran número de profesionales que se encuentran vinculados, con mayor o menor intensidad, al terreno. Así, desde los paleontólogos y prehistoriadores hasta los arquitectos pasando por ingenieros de caminos y de minas, todos encuentran un lugar común en la geofísica.

Quizás esta afirmación necesite de una aclaración para su mejor comprensión y, al mismo tiempo, para ver el alcance de estas relaciones multidisciplinarias.

Para un geólogo estructural, por ejemplo, es muy importante conocer la estructura de una cuenca y de un macizo rocoso, el plegamiento y disposición de las capas, así como la presencia y orientación de fracturas. Pues bien, todos estos aspectos son, con mayor o menor precisión, detectables e interpretables por el geólogo geofísico a partir de los perfiles y mapas que puede generar con los datos geofísicos.

Del mismo modo que el conocimiento de la estructura de una cuenca es fundamental para el estructuralista, llegar a saber cómo es el relleno de esa cuenca, dónde está el depocentro, cómo son los materiales que la rellenan, cómo se distribuyen, de qué manera se distribuyen las facies, son incógnitas de necesaria resolución para un sedimentólogo y que son perfectamente abordables por distintos métodos geofísicos.

¿No le ayudaría mucho a un hidrogeólogo conocer dónde se encuentra el nivel freático, o dónde hay niveles permeables, a qué profundidad y en qué posición se pueden encontrar los niveles y las fracturas productivas, hasta dónde se extiende la cuña de intrusión marina? Sin duda, la relación entre este profesional y el geólogo geofísico sería muy productiva. Los conocimientos que puede aportar el geólogo geofísico en esta materia, como ya se ha visto en capítulos anteriores, son casi innumerables.

La minería, como dedicación del geólogo, del ingeniero de minas y del profesional, tampoco se aparta del ámbito de actividad del geólogo geofísico. Hay una serie de métodos geofísicos que tienen una directa aplicación a la prospección mineral. No debe olvidarse que la prospección geofísica surgió para dar cobertura y apoyo a la investigación de recursos energéticos (hidrocarburos) y minerales. Dentro de este campo están también las canteras, tanto de materiales destinados a áridos como a explotación como roca ornamental. Conocer hasta dónde extienden en profundidad, ver sus variaciones laterales, calcular sus reservas son objetivos de constante persecución por el geólogo geofísico.

¿No tiene un edificio un substrato rocoso sobre el que edificarse? ¿No suele haber cavidades, zonas alteradas o fracturas en ese substrato? ¿No hay que realizar una excavación para los niveles subterráneos? ¿No hay que poner apoyos constructivos sobre el terreno? ¿No hay edificios que sufren hundimientos? Cada vez es más frecuente encontrar sentados en una misma mesa de reuniones geólogos geofísicos y arquitectos para tratar de buscar soluciones a los problemas que se le plantean a éstos.

Del mismo modo, es cada vez más frecuente el reconocimiento de la ayuda que puede aportar el geólogo geofísico tanto a los ingenieros de caminos, canales y puertos como a los ingenieros técnicos de obras públicas. La caracterización de apoyos de frentes de presas, la predicción de los terrenos y fracturas a atravesar por un túnel, el diseño de la excavabilidad en una obra lineal y la resolución de problemas en puertos marítimos son incógnitas abordables por los geólogos geofísicos.

Una de las principales incógnitas que desea resolver un especialista en medio ambiente es la identificación de terrenos contaminados y la localización de la extensión de la "pluma" de contaminación. La legislación actual relacionada con suelos contaminados obliga al propietario de un terreno a descontaminarlo; conocer con anterioridad a un proceso de compraventa de fincas, solares y parcelas y si éstas están o no contaminadas evitará sorpresas desagradables al futuro comprador. Estos objetivos son, igualmente, abordables a partir de técnicas geofísicas y, consecuentemente, constituyen un campo en el que el geólogo geofísico tiene mucho que decir.

Aunque pudiera parecer extraño, también la policía y los jueces han necesitado en alguna ocasión del geólogo geofísico. Hay una serie de casos en los que se ha contado con la colaboración del geólogo geofísico tanto para su resolución (por ejemplo, para la búsqueda de montañeros bajo la nieve de avalanchas) como para dictaminar una sentencia.

## ¿Quiénes son sus principales clientes?

Los clientes para los que trabaja el geólogo geofísico son muy variados ya que van desde organismos públicos hasta particulares, pasando por empresas privadas. El caso de los organismos públicos de carácter nacional, como puede ser el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), se convierten en clientes potenciales en tanto que pueden (y suelen) solicitar el apoyo tecnológico de geólogos geofísicos en proyectos de investigación de determinadas zonas. También sucede lo mismo cuando se trata de ministerios, como por ejemplo, el Ministerio de Fomento, con cuyos presupuestos se costean los proyectos de infraestructuras de ámbito nacional (como es el caso de las redes de carreteras, autovías y autopistas, los trazados de las líneas férreas y de líneas de alta velocidad, etc.). En el caso del Ministerio de Medio Ambiente suceden situaciones similares cuando, por ejemplo y por enmarcarlo en una situación muy actual, se puede colaborar en la parte correspondiente de los programas nacionales de diseño y construcción de las redes piezométricas de las cuencas hidrográficas. Dentro de este ámbito estatal destacan asimismo las Confederaciones Hidrográficas, las cuales pueden convertirse en clientes potenciales, por ejemplo, con la colaboración con medios geofísicos dentro de los programas nacionales de los programas nacionales de diseño y construcción de las redes piezométricas, o para temas relacionados con los embalses para regadío.

También el geólogo geofísico puede contar con clientes como las administraciones autonómicas, es decir, diversas consejerías, como es el caso, por ejemplo, de las correspondientes consejerías de Agricultura (para participar en proyectos de investigación hidrogeológica para localizar recursos en el subsuelo capaces de paliar las necesidades de regadío de una comarca determinada); o de las correspondientes consejerías de Medio Ambiente (colaborando en proyectos de investigación para control de la extensión de la contaminación de suelos y de acuíferos); o de las correspondientes consejerías de Fomento (como sucedería en el caso de la participación en proyectos de infraestructuras).

A una escala más próxima, también son clientes potenciales las diputaciones provinciales, que tienen competencias en la mayoría de los municipios de cada provincia y, consecuentemente, se sirven de los conocimientos de los geólogos geofísicos para integrarlos en proyectos de emergencia en periodos de sequía para investigar nuevos acuíferos en zonas poco explotadas o con necesidad de recursos. Lo mismo sucede en las colaboraciones para apoyo a problemas geotécnicos que afecten a determinadas infraestructuras o a la construcción de nuevas redes de abastecimiento así como a la participación en las primeras fases del diseño de vertederos o el control de posibles fugas de los mismos.

Ya en el grado de mayor cercanía, los organismos públicos locales, como los ayuntamientos, suelen requerir, habitualmente, los servicios de geólogos geofísicos, por ejemplo, en los proyectos de captación de aguas subterráneas.

Lo mismo sucede con universidades y con centros de investigación, como podría ser el caso del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) que se convierten en clientes potenciales cuando el geólogo geofísico, o su empresa, se convierten en socios tecnológicos de proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i).

En cuanto a las empresas privadas, la diversificación de clientes es enorme en tanto que los objetivos que son abordables a partir de la prospección geofísica son muy variados. Los sectores del tejido empresarial susceptible de necesitar los servicios del geólogo geofísico son diversos como también es cambiante el orden de prioridad de esos clientes: dependiendo del momento, se presentan como prioritarios los proyectos para control y resolución de los efectos de una sequía prolongada (desaladoras, trasvases), o los proyectos de infraestructuras estratégicas (carreteras, líneas ferroviarias de alta velocidad, cementerios radiactivos), proyectos medioambientales (descontaminación de suelos, control de intrusión marina, vertederos), construcción (geotecnia, obra civil, búsqueda de recursos, como los áridos o la roca ornamental), etc. Son precisamente esos momentos en los que las consultoras y las empresas de ingeniería, así como las empresas

del ramo de la construcción o las empresas extractivas de áridos y compañías fabricantes de cemento, por ejemplo, canalizan una parte de sus presupuestos y, consecuentemente, se convierten en los principales clientes para el geólogo geofísico.

## Referencias bibliográficas

Por lo que respecta a las referencias bibliográficas de las que se nutre el geólogo geofísico, como sucede en casi la totalidad de las disciplinas técnicas y científicas, son publicaciones extranjeras y apenas hay textos traducidos al castellano. Con esta premisa ya asumida se relacionan a continuación los trabajos más destacados tanto por ser los más relevantes, los más generalistas o los más actualizados. La mayor parte de ellos hacen referencia a la geofísica aunque son más recomendables para el geólogo geofísico los trabajos de prospección geofísica aplicada a objetivos diversos.

Aracil, E. (1995). Testificación geofísica: Una herramienta para la inspección de sondeos hidrogeológicos. VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla.

Aracil, E. (2000). Inspección, control de calidad, envejecimiento y regeneración de pozos. Olmo, M. y López-Geta, J. A. (eds.). Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología, IGME, Madrid, 49-59.

Aracil, E. (sin publicar). Registros geofísicos. Aspectos aplicados. Nuevas técnicas de construcción de pozos en terrenos no consolidados. Fermín Villarroya. Editorial de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español.

Astier, J. L. (1975). Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Paraninfo, Madrid.

Beck, A. E. (1991). Physical Principles of Exploration Methods. (2ª ed.). Wuerz, Winnepeg.

Bengt Sjöre (1984). Shallow Refraction Seismics. Chapman and Hall, Londres.

Blakely, R. J. (1995). Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press.

Bullen, K. E. (1985). An introduction to the theory of seismology. (3ª ed.). Cambridge University Press, Nueva York.

Cantos Figuerola, J. (1987). Tratado de prospección geofísica aplicada. (3ª ed.). Escuela de Minas, Madrid.

Chuvieco Salinero, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. (3ª ed.). Ediciones Rialp, Madrid.

Dobrin, M. (1960). Geophysical Prospecting. MacGraw-Hill, Nueva York.

Estrada Lorenzo, F. (1996). Prospección geofísica de alta resolución mediante geo-rádar aplicación a obras Civiles. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX Madrid. Ministerio de Fomento.

Garland, L. D. (1965). Introduction to Geophysics. Mantle, core and crust. (2ª ed.), Sanders, Filadelfia.

Grant, F. S. y West, G. F. (1965). Interpretation theory in applied geophysics. McGraw-Hill, Nueva York.

Griffiths, D. H. y King, R. F. (1972). Geofísica aplicada para ingenieros y geólogos (traducción y notas de Angel Río de la Cruz). Paraninfo, Madrid.

Griffiths, D. H. y King, R. F. (1981). Applied geophysics for geologists and engineers: the elements of geophysical prospecting. (2ª ed.), Pergamon Press, Oxford.

Gupta, Ravi P. (1991). Remote sensing geology. Springer, Berlín, Barcelona.

Hatton, L.; Worthington, M. H. y Makin, J. (1986). Seismic Data Processing. Blackwell Science.

Kearey P. y Brooks, M. (1991). An Introduction to Geophysical Exploration. (2ª ed.) Blackwell Science.

Lille, R. J. (1999). Whole Earth Geophysics. Prentice Hall, Nueva Jersey.

Lorenzo, E. (1996). Prospección Geofísica de Alta Resolución mediante geo-rádar. Cedex, Madrid.

Lowrie, W. (1997). Fundamentals of geophysics. Cambridge University Press.

Miguel, L. de (1980). Geomagnetismo. (3ª ed.). Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

Milson, M. (1991). Field Geophysics. Geological Society of London Handbook. John Wiley & Sons, Nueva York.

- Mirónov, V. S. (1977). Curso de prospección gravimétrica. Reverté, Barcelona.
- Officer, C. B. (1974). Introduction to theoretical geophysics. Springer, Nueva York.
- Orellana, E. (1974). Prospección Geoeléctrica por Corriente Continua y Campos Variables. Paraninfo, Madrid.
- Parasnis, D. S. (1970). Principios de geofísica aplicada. Paraninfo, Madrid.
- Plata, J. L.; Alonso, T.; Alberdi, R. y Aracil, E. (1996). Testificación geofísica de sondeos mecánicos: divulgación y desarrollo metodológico de esta técnica. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Reynolds, J. M. (1997). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Rodríguez Santana, Á. y Marrero Díaz, Á. (sin publicar). Problemas de Geofísica propuestos, resueltos y comentados. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Sharma, P. R. (1997). Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press.
- Sleep, N. H. y Fuyita, K. (1997). Principles of Geophysics. Blackwell Science.
- Smith, P. J. (1975). Temas de Geofísica. Reverté, Barcelona.
- Shearer, P. M. (1999). Introduction to Seismology. Cambridge University Press.
- Serra, O. (1985). "Diagraphies Differees". Bull Cent. Rich. Explor. -Prod. Elf-Aquitaine.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P. y Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. Cambridge University Press.
- Trigueros Tornero, E. (1993). Introducción a la investigación y prospección minera. Universidad de Murcia.
- Udías Vallina, A. y Mezcua Rodríguez, J. (1997). Fundamentos de geofísica. Alianza, Madrid.