

La Geofísica Somera en Venezuela, actualidad y perspectivas futuras

Antonio Ughi*, Laboratorio de Interpretación del Subsuelo, Departamento de Geofísica, Universidad Central de Venezuela.

Palabras clave: Geofísica Somera, Geotecnia, Geofísica Ambiental, Geofísica Minera, prospección.

Resumen

En la última década se ha planteado a nivel mundial un amplio debate sobre cómo definir a la Geofísica Somera. En Venezuela ese debate ha sido menos intenso debido a que se trata de una disciplina en auge y hasta cierto punto desconocida. En este artículo se presentan un conjunto de elementos novedosos con el propósito de enriquecer el debate sobre este tema y se analiza de forma sucinta la realidad actual de una de las ramas de la Geofísica que se preve tenga grandes perspectivas de desarrollo futuro en nuestro país.

Introducción

Con el nombre de Geofísica Somera (“Near-Surface Geophysics”) se ha pretendido definir a todo un conjunto de técnicas, metodologías de adquisición y aplicaciones de la Geofísica en un conjunto de áreas de la ingeniería que no están relacionadas con la prospección de hidrocarburos.

Las definiciones de “somero” son tan variadas como autores, investigadores e ingenieros existen y en consecuencia, se ha dado un gran debate sobre cuán superficial debe ser una adquisición geofísica para que sea considerada somera (Butler, 2005).

Considerar el tema de la profundidad de prospección como mecanismo fundamental para establecer parámetros de diferenciación entre las distintas disciplinas de la Geofísica puede resultar escabroso y conducir a los investigadores y practicantes a trampas sin salida.

Por una parte los instrumentos geofísicos utilizados para las adquisiciones “someras” generalmente han sido diseñados para funcionar dentro de un amplio espectro de profundidades y métodos de adquisición, por lo que resultaría inviable utilizar este elemento como marcador. Por otra parte, los métodos de prospección geofísica (gravimetría, magnetometría, sísmica y geoelectricidad) son ampliamente utilizados en todos los ámbitos tanto de prospección petrolera como de otras aplicaciones y disciplinas a cualquier profundidad y escala de observación, por lo que definir la Geofísica Somera a partir del uso de un método específico también queda inhabilitado.

En consecuencia persisten las preguntas: ¿Con qué parámetros definimos a la Geofísica Somera?, ¿qué elementos la constituyen?, ¿cuáles son sus alcances? y ¿dónde comienzan las demás disciplinas de la Geofísica?

En este artículo se pretende describir los elementos que se han utilizado hasta ahora para resolver las interrogantes planteadas, analizar los problemas que se han presentado y que han impedido desarrollar una definición unificada, e introducir en el debate nuevos aspectos que se consideran útiles para reorientar la discusión sobre el tema, así como describir brevemente la realidad actual de la Geofísica Somera en Venezuela y su desarrollo futuro.

¿Profundidad o resolución?

Como ya se mencionó antes, el tratar de definir los límites de una disciplina de la Geofísica sólo por la profundidad de exploración puede resultar un argumento muy débil a la hora de sostenerlo en un debate serio.

Como Butler (2005) lo señala, se ha argumentado que las profundidades de prospección típicas para la Geofísica Somera pueden oscilar entre los 10 y los 300 m. Tomando en consideración que cerca del 90% de las aplicaciones cotidianas de esta disciplina no superan los 30 m de profundidad, entonces sería sencillo sugerir que Geofísica Somera es toda aquella adquisición geofísica realizada con propósitos prospectivos que no superen los 30 m de profundidad, pero si esto es así, entonces en qué disciplina quedarían agrupadas aquellas prospecciones con profundidades superiores a los 30 m.

Un elemento que sí caracteriza a toda adquisición geofísica somera es el nivel de detalle o resolución que se requiere para lograr los objetivos planteados por el contratista, y este elemento está siempre presente indistintamente la profundidad. La única certeza que todo practicante de la Geofísica Somera tendrá es que siempre se le solicitará obtener resultados de alta resolución (tanto vertical como lateral) en confinados espacios disponibles para la adquisición.

Al comparar las características típicas de una adquisición “somera” con las adquisiciones geofísicas destinadas a la exploración de hidrocarburos por ejemplo, se evidencian muchas más diferencias y elementos que le son propios a cada disciplina por separado.

En la prospección geofísica de hidrocarburos el volumen de trabajo, área de exploración y cantidad de personas contratadas para realizar la adquisición se miden en magnitudes 10 o 100 veces superiores a las requeridas para una prospección somera. Por supuesto, el tema tiempo de

La Geofísica Somera en Venezuela

permanencia en campo, tiempo de movilización y desmovilización de personal y equipos y el infaltable “costo total del proyecto” también están afectados por los mismos órdenes de magnitud.

Es precisamente este conjunto de elementos los que hacen tan atractiva a la Geofísica Somera como apoyo e insumo técnico para otras disciplinas y aplicaciones como por ejemplo, la Geotecnia y las aplicaciones ambientales. El poder coleccionar datos del subsuelo de forma rápida, con alto nivel de resolución, con un mínimo de personal involucrado (lo que reduce los riesgos de accidentes industriales y otros aspectos de índole económico) y a bajo costo, pero lo más importante aún, la posibilidad de poder disponer de los resultados y modelos del subsuelo en poco tiempo son aspectos muy solicitados por los contratistas, ya que la rápida disponibilidad de resultados permite tomar decisiones en tiempo real sobre el diseño de infraestructura, ubicación de obras y aplicar procedimientos de recuperación ambiental en el momento adecuado.

Escala de trabajo y características de la adquisición geofísica somera

De forma muy general es posible subdividir la prospección geofísica en tres grandes grupos de escala según el tamaño del área a estudiar, el volumen de datos a coleccionar y la resolución de los mismos:

1. La macro-escala en donde se podrían incluir los estudios de tectónica y geodinámica, movimiento relativo de placas, flujo termal en márgenes de placas y continentes, interacción entre placas, estudios de isostasia, estudios de campo gravitatorio y magnético global, etc.
2. La meso-escala en donde podrían ser ubicados los estudios en cuencas sedimentarias y cadenas montañosas, yacimientos de hidrocarburos, isostasia local, etc. Esta es la escala por excelencia de la Geofísica Petrolera.
3. La micro-escala está relacionada con estudios a detalle, en áreas reducidas donde el volumen de datos a coleccionar queda limitado por el espacio disponible en superficie para colocar los sondeos geofísicos o porque el área prospectiva está circunscrita a una construcción (moderna o histórica). Esta es la escala por antonomasia de la Geofísica Somera.

Si bien la clasificación anterior no pretende ser exhaustiva, ni mucho menos generar un patrón que permita clasificar las distintas disciplinas de la Geofísica actual, sin duda puede servir de guía al lector para establecer un contexto de trabajo unificado.

Por otra parte, es menester resaltar las características de una adquisición geofísica somera típica. Normalmente el espacio disponible en superficie para colocar los sondeos geofísicos es reducido, ya que se suele trabajar en zonas urbanizadas o sobre construcciones que han presentado algún tipo de falla estructural por efecto de movimientos diferenciales e inestabilidad del suelo (Figura 1).



Fig. 1 Ejemplo de adquisición sísmica en el jardín de una casa con problemas de inestabilidad del terreno. En este caso la geometría de adquisición estuvo condicionada por el espacio disponible para colocar el tendido. (Foto del Archivo del Departamento de Geofísica-UCV).

La topografía (Figura 2) y los niveles de ruido ambiental (Figura 3) son también factores con los que los practicantes de la Geofísica Somera deben lidiar a diario.



Fig. 2 Ejemplo de adquisición sísmica en una zona de topografía difícil. El sondeo fue dispuesto de forma tal de minimizar la afectación sobre la sísmica por cambios abruptos de pendiente. (Foto del Archivo del Departamento de Geofísica-UCV).

La Geofísica Somera en Venezuela

El primero condiciona la geometría de adquisición y la interpretación de los resultados, mientras que el segundo obliga a manejar de forma cuidadosa el proceso de adquisición y procesamiento mediante el uso de acertadas combinaciones de filtros y diseños de adquisición (particularmente al trabajar con sísmica) que permitan obtener los datos con un nivel de calidad aceptable.



Fig. 3 Adquisición sísmica en una zona industrial en construcción. Tanto la maquinaria como el personal ubicados al fondo de la fotografía debieron detener sus labores para permitir al equipo de campo realizar su trabajo. Los problemas logísticos y de costos en este tipo de situaciones resultan en inconvenientes que deben ser superados. (Foto del Archivo del Departamento de Geofísica-UCV).

El objetivo del proyecto es quizá el elemento más riguroso que controla la forma y cantidad de datos que el geofísico debe adquirir en campo y condiciona además el área a prospectar. Un clásico ejemplo de esto es la prospección para evaluar la integridad de fosas de desechos industriales (Figura 4).



Fig. 4 Adquisición electromagnética en la base del muro de contención de una fosa petrolera. En este caso el objetivo no requería abarcar una gran área sino realizar mediciones muy cercanas unas de otras para incrementar el nivel de

detalle. (Foto del Archivo del Departamento de Geofísica-UCV).

Dado que sólo interesa verificar si de la fosa fluyen contaminantes hacia el subsuelo, la adquisición queda restringida a una pequeña área entorno al límite de la misma, para evaluar con un alto nivel detalle una limitada porción de terreno a una determinada profundidad.

Muestreo contra saturación

Un parámetro de diseño que diferencia la Geofísica Somera de las demás disciplinas y que no ha sido tomado en cuenta en este debate, guarda relación con la cantidad de sondeos que se adquieren y su distribución sobre el terreno.

Dependiendo de si se está en un ámbito de exploración inicial o de prospección a detalle, se pueden considerar dos formas de distribución de los sondeos geofísicos en una campaña típica de adquisición somera: muestreo y saturación.

La técnica de muestreo consiste en disponer de forma diseminada pero preferiblemente de manera uniforme, una serie limitada de sondeos sobre grandes áreas. El muestreo se suele utilizar por ejemplo para las exploraciones iniciales en prospección de agua subterránea o en minería, donde interesa conocer de manera general las zonas de interés para luego, en una segunda campaña, estudiar los sitios escogidos con más detalle.

Para aplicaciones en geotecnia y ambiente en donde se requiere un nivel de detalle superior, el muestreo debe ser complementado con una amplia base de datos geológicos, representada en geología de superficie, cartografiado geológico, calicatas, pozos (preferiblemente con extracción de núcleos) y ensayos en laboratorio. Esto debido a que el muestreo presenta el inconveniente que al estar los sondeos muy espaciados se dificulta la correlación lateral y disminuye la resolución tanto vertical como horizontal del dato colectado. El vacío de información geofísica debe ser llenado, en consecuencia, con información geológica.

El diseño por saturación se contraponen a la clásica metodología de muestreo porque aquí se propone la realización de una gran cantidad de sondeos en espacios reducidos, manteniendo siempre que se pueda, la condición de uniformidad en la distribución de los mismos.

La saturación de sondeos es idónea en áreas en donde se requiere un estudio a detalle y se presume la existencia de gran variabilidad estratigráfica lateral. Dado que se adquiere una alta densidad de información, es posible construir mapas de propiedades físicas del subsuelo que identifiquen con precisión las variaciones geológicas.

La Geofísica Somera en Venezuela

El método de saturación presenta la ventaja adicional que minimiza la necesidad de información geológica o geotécnica para correlacionar con el dato geofísico, pero tiene el inconveniente que se requiere un mayor número de personas y una prolongada permanencia en campo para realizar la adquisición, lo que incrementa sustancialmente los costos de los proyectos realizados con esta técnica.

Aplicaciones actuales de la Geofísica Somera en Venezuela y perspectivas futuras

La economía de nuestro país está fundamentalmente basada en la exploración, extracción y comercialización de hidrocarburos, razón por la cual la industria petrolera nacional es por excelencia un formidable polo de atracción que absorbe a la casi totalidad de los ingenieros geofísicos egresados de nuestras Universidades y le deja muy poco espacio al desarrollo de otras disciplinas como la Geofísica Somera.

La circunstancia que nuestra realidad como país nos plantea, ha dejado al mundo de la Geofísica Somera en manos de un puñado de personas y un número aún más reducido de empresas privadas e instituciones públicas (con las Universidades Nacionales a la cabeza) como las únicas encargadas de aplicar, desarrollar y promover los estudios geofísicos a detalle para las denominadas aplicaciones no convencionales (entendiendo como aplicaciones convencionales las que se desarrollan dentro del ámbito petrolero).

No obstante esta realidad, la tendencia en la última década ha sido de un aumento lento pero constante en el número de profesionales que se dedican a la Geofísica Somera y un incremento sustancial en la demanda de este tipo de estudios.

El mayor desarrollo se ha experimentado en el mundo de la ingeniería civil (Geotecnia), en donde la creciente demanda de estudios para microzonificación sísmica (Rocabado et al., 2002), determinación de espesor de sedimentos en zonas urbanas (Sánchez et al., 2002), caracterización del suelo para construcciones civiles (Rojas y Cataldi, 2008; Ughi et al., 2008) evaluación de riesgos geológicos y de licuación de suelos (Romero et al., 2002; González y Ughi, 2006) se ha convertido en la norma. Las aplicaciones ambientales como caracterización de fosas de desechos petroleros y mineros (Cataldi y Benavides, 2000; González et al., 2000; Madrid y Cataldi, 2002; Meza y Sánchez, 2002; Zabala, 2004; Ughi y Casas, 2006) y para prospección de acuíferos (Cataldi et al., 2006) no se han quedado atrás.

Más recientemente, se ha ampliado el ámbito de influencia de la Geofísica Somera a nuevas aplicaciones como la detección de tuberías enterradas (Cataldi y Zurita, 2002),

ubicación de fallas cuaternarias activas (Ollarves et al., 2004), identificación de patrones de sedimentación en zonas costeras (Rojas et al., 2006), aplicaciones en arqueología y construcciones de carácter histórico (Romero, 2009) y las aplicaciones geotécnicas y de evaluación de riesgo geológico en construcciones costa afuera, denominado de forma genérica como Geofísica Marina (Ayán, et al., 2011), entre muchas otras.

Este desarrollo reciente hace suponer que las perspectivas futuras de la Geofísica Somera en Venezuela son prometedoras, no sólo por el volumen de trabajo que día a día se le solicita a las pocas empresas e instituciones públicas que se dedican a esta disciplina, sino en el número de profesionales que comienzan a formarse específicamente para este tipo de trabajo, lo que inevitablemente derivará en un efecto multiplicador que incrementa el desarrollo y la demanda de esta importante y útil área del saber dentro de la Geofísica.

Conclusiones

Definir a la Geofísica Somera por los parámetros de adquisición como la profundidad de prospección o los instrumentos utilizados ha demostrado ser inútil y conlleva a confusiones. Resulta más ventajoso definirla a partir de la escala o nivel de detalle de la prospección.

La Geofísica Somera se caracteriza por exploraciones de bajo costo, reducido número de personas en las operaciones de adquisición, limitado tiempo de permanencia en campo y alta resolución tanto vertical como lateral en el dato colectado.

Entre las fortalezas que la convierten en una herramienta útil para aplicaciones no petroleras destacan: la posibilidad de poder disponer de los resultados y modelos del subsuelo en poco tiempo, bajos costo de movilización y desmovilización de personal y equipos, facilidad para hacer exploraciones en terrenos de difícil acceso o con mucho ruido ambiental y su versatilidad para integrar y correlacionar los resultados geofísicos con datos geológicos y geotécnicos.

Estos elementos hacen de la Geofísica Somera la disciplina con mejores perspectivas dentro del ámbito de las Geociencias, ya que el número de aplicaciones que a diario surgen son siempre crecientes lo que deja mucho espacio para el desarrollo, investigación y crecimiento profesional e institucional.

Agradecimientos

Es oportuno expresar gratitud con el Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela por haber facilitado y permitido el uso del Archivo

La Geofísica Somera en Venezuela

Fotográfico, gracias al cual se ha podido documentar con imágenes la presente publicación.

Referencias

Archivo fotográfico del Departamento de Geofísica-UCV. Departamento de Geofísica, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela.

Ayán, R., A. Ughi y A. González, 2011, Estudio geofísico somero para la evaluación de riesgos geológicos en instalaciones marinas al sur de la Península de Paria, Venezuela. Resumen. XIV Congreso Latinoamericano de Geología, Medellín, Colombia.

Butler, D., 2005, Near-surface Geophysics, Investigations in Geophysics 13. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 732p.

Cataldi, A. y A. Benavides, 2000, Geofísica ambiental: aplicaciones y ejemplos. Memorias, X Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Cataldi, A. y O. Zurita, 2002, Investigaciones para la ubicación y caracterización de rutas de tuberías y cables usando técnicas geofísicas. Memorias, XI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Cataldi, A., F. Zambrano y H. Rojas, 2006, Aplicación de métodos de resistividad en investigación hidrológica (experiencias en Venezuela). Memorias, XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

González, M., H. Duque, J. Alvarellos, G. Malavé y F. Camacho, 2000, Evaluación de la continuidad de un estrato de suelo mediante técnicas geofísicas. Memorias, X Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

González, J. y A. Ughi, 2006, Evaluación de riesgo de licuación de suelos utilizando sísmica de refracción somera en la isla de barrera de la Laguna de Unare, Estado Anzoátegui. Memorias, XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Madrid, M. y A. Cataldi, 2002, Caracterización de fosas petroleras y sitios contaminados por crudo a través de métodos geofísicos y sensores geoquímicos *in situ*. Memorias, XI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Meza, R. y J. Sánchez, 2002, Estudio geotécnico para la determinación de fracturas en diques en el área 75 de Bauxilum-CVG, operadora de alúmina. Memorias, XI Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Ollarves, R., F. Audemard, P. Camacho, C. Sánchez, A. Cataldi y F. Zambrano, 2004, Uso del GPR como herramienta para la búsqueda de fallas activas: calibración con un afloramiento cuaternario. Memorias, XII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Rocabado, V., M. Schmitz, T. Enomoto, N. Abeki, V. Espinoza, P. Ghinaglia, J. Sandia y J. Suniaga, 2002, Periodos predominantes y amplificaciones relativas del suelo de Caracas. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 240p.

Rojas, H. y A. Cataldi, 2008, Aplicación de métodos sísmicos de ondas superficiales y ruido ambiental en caracterización de sitio. Memorias, XIV Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Rojas, H., A. Ughi, J. González y F. Bolívar, 2006, Caracterización morfológica de la isla de barrera de la Laguna de Unare mediante perfiles sísmicos someros. Memorias, XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Romero, J., 2009, Prospección geofísica aplicando GPR en la iglesia Santa Ana del Norte, Municipio Gómez, Edo. Nueva Esparta, Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 115p.

Romero, M., A. Cragno, R. Ambrosio, M. Schmitz y J. González, 2002, Caracterización de suelos con métodos geofísicos, edo. Vargas (La Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena). III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 240p.

Sánchez, J., M. Schmitz y V. Cano, 2002, Mediciones sísmicas profundas en Caracas para la determinación del espesor de sedimentos y velocidades sísmicas como aporte para el estudio de microzonificación sísmica. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica, Caracas, 240p.

Ughi, A. y V. Casas, 2006, Análisis geoestadístico de datos de potencial espontáneo para determinar el flujo del nivel freático en la localidad cercana a la estación Cachicamo, Área Mayor de Socororo, Estado Anzoátegui. Memorias, XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Ughi, A., V. León, J. Reyes, E. Villegas y G. Carrillo, 2008, Caracterización geotécnica del subsuelo en la región de Argyle, isla St. Vincent, Antillas Menores. Memorias, XIV Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.

Zabala, J., 2004, Aplicación de la Geofísica Ambiental en la estimación de riesgos de peligros ambientales en regiones de marcado crecimiento urbano. Memorias, XII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas.