

# La tomografía eléctrica como técnica de diagnóstico, caracterización y evaluación previa e imprescindible al saneamiento ambiental del subsuelo en situaciones de pasivos petroleros

Por **Lic. Andrés López Hidalgo**

Consultor geofísico (alhgeofisica@arnet.com.ar).

Investigador del Instituto Geofísico Sismológico

Ing. F. S. Volponi, Facultad de Ciencias

Exactas, Físicas y Naturales, Universidad

Nacional de San Juan

Muy frecuentemente los procedimientos de diagnóstico, caracterización y evaluación para el saneamiento de pasivos petroleros no está normalizado y menos aún estandarizado, con lo cual los procesos de remediación están desvinculados de algunas técnicas directas e indirectas de diagnóstico. Nuestra experiencia en proyectos de diagnóstico, caracterización y evaluación ambiental del subsuelo nos ha demostrado la capacidad resolutive del método de tomografía eléctrica, la cual nos muestra a través de imágenes, el estado y la localización certera de los pasivos. Esta técnica la hemos aplicado en distintas etapas del proceso de saneamiento, lo que nos permitió comprobar que es de fundamental importancia efectuar un diagnóstico previo a cualquier acción de remediación y así evitar un mayor deterioro ambiental y costes innecesarios.

Lo que sigue es un resumen del trabajo técnico presentado en las 6° Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo, organizadas por el IAPG en la ciudad del Neuquén en noviembre de 2005.



## Introducción

El método de tomografía eléctrica (TE) en dos, tres y cuatro dimensiones (TE\_R2D, TE\_R3D y TE\_R4D) es una técnica de investigación de resistividad (res) de áreas con anomalías complejas (resistivas o conductivas), donde el empleo de otras técnicas no permiten obtener información de detalle en 2D, 3D y 4D a profundidades someras y moderadamente profundas.

La TE consiste en obtener una serie de medidas de res aparente con un microdispositivo tetraelectródico determinado y con una separación constante entre electrodos denominada "a", y variar (aumentar) las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor denominado "n", de tal forma que el resultado final será una sección de resistividades aparentes a varios niveles "n" en profundidad. Estos datos necesariamente deben ser tratados por algoritmos matemáticos para llegar a obtener una imagen de res-profundidad verdadera, proceso denominado inversión.

## Características

Las siguientes características son de fundamental importancia en aplica-

ciones de diagnóstico ambiental sub-superficial:

- Imágenes de elevada resolución para profundidades someras a medias.
- La cobertura en dos y tres dimensiones es mayor que la lograda con los métodos tradicionales, tales como perforación, sondeos y calicatas mecánicas, entre otros.
- Las mediciones en 4D permiten observar, caracterizar y evaluar los aspectos dinámicos de un pasivo con el tiempo.
- Los resultados se presentan de manera que posibilitan una fácil comprensión por parte de geólogos, hidrogeólogos, ingenieros u otros especialistas.
- Los tiempos y costos comparativos son menores a los de las técnicas directas de muestreo para una misma superficie de estudio.

## Resultados de la TE

El resultado obtenido mediante la técnica de TE es una imagen geoelectrica o sección de res de alta resolución con una muy buena aproximación del modelo de resistividades y profundidades verdaderas del subsuelo, resultado que puede ser, en la mayoría de los casos, correlacionado y constatado con las observaciones de campo, informa-

ción geológica, perforaciones, calicatas mecánicas, geoquímica, hidrogeología, edafología, etc.; resultados con cuya interpretación se llega a las conclusiones del diagnóstico ambiental.

## Caso histórico

**Diagnóstico ambiental, caracterización y evaluación del estado de un pasivo petrolero superficial y subsuperficial (derrames y piletas) aplicando la técnica geofísica de TE antes de la remediación.**

Este caso se refiere a la caracterización, evaluación y diagnóstico del estado de un pasivo de grandes dimensiones, donde además se calcularon volúmenes. Esta investigación fue presentada como un estudio de impacto ambiental o informe ambiental necesario para la obtención de la licencia ambiental, acto administrativo emitido por la autoridad de aplicación realizado como etapa previa al proceso de saneamiento del suelo y subsuelo.

## Litología

El perfil litológico corresponde a tres capas: la primera es arena eólica suelta, arenas limosas o franco arenosas hasta 2,5m. (\*)

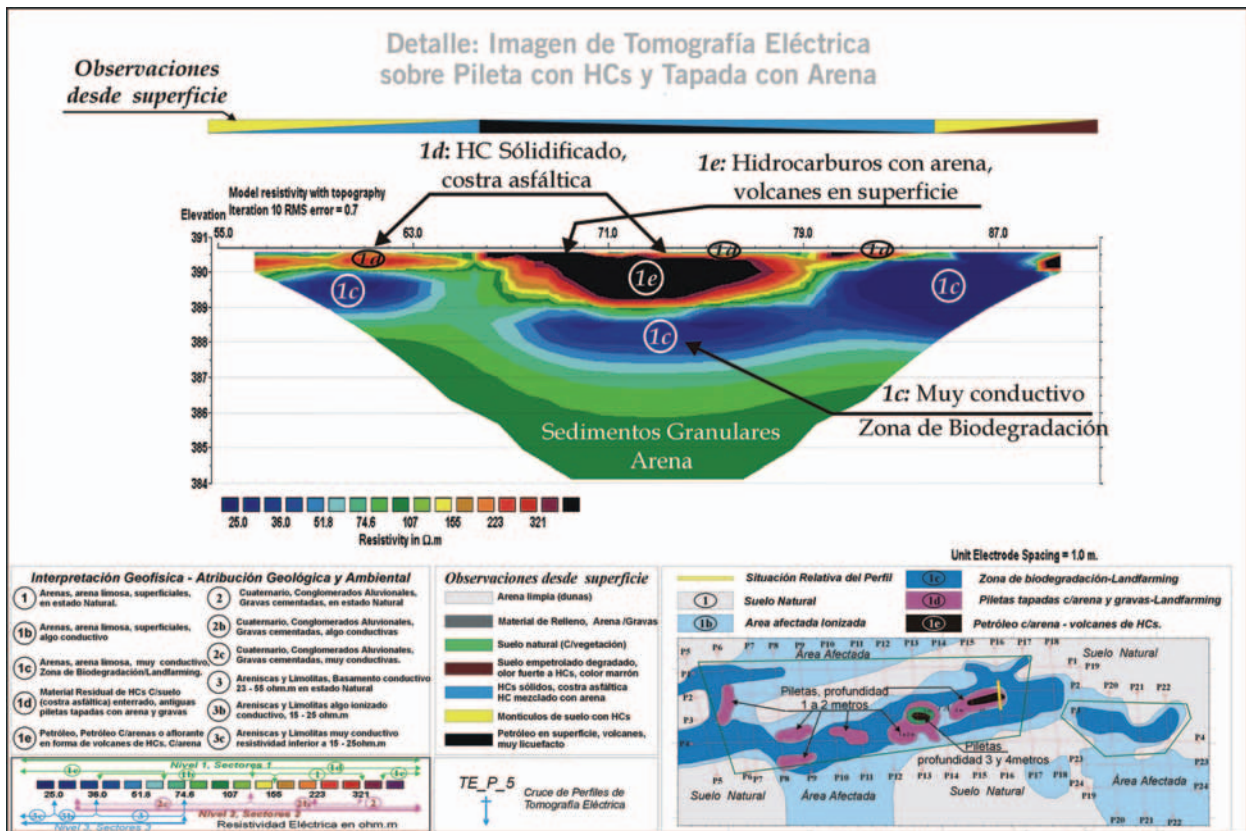


Figura 1. Detalle imagen de TE sobre una pileta con HCs tapada con arena. Se ha incorporado una interpretación geofísica con la caracterización en planta donde se destacan el sector 1e (petróleo con arena), la zona vadoza debajo y a los costados de la misma (1c) y las costras asfálticas 1d. Las observaciones desde superficie destacan características cualitativas. Escalas: H: 1: 500, V: 1: 500.

La segunda corresponde a sedimentos cuaternarios de escasa permeabilidad y porosidad primaria baja o nula, de un espesor de 10 y 15m. En general, esta capa se denomina como la zona vadosa, es decir, es una zona no saturada. (\*\*)

El perfil concluye en las areniscas de grano fino a grueso con intercalaciones de limolitas y arcilitas por debajo de los 10 a 15m, con una porosidad primaria muy reducida y algo de porosidad secundaria por fracturación. Esta última capa investigada es no acuífera o acuífera pobre, en cuyo caso correspondería al cuerpo receptor de agua subterránea más superficial, denominado por otros autores como basamento conductivo por su baja res natural (10-55ohm.m). (\*\*\*)

### Observaciones de superficie

Para la correlación de las imágenes de TE con los datos ambientales y antrópicos se relevaron los perfiles y se obtuvo una serie de datos superfi-

ciales con una descripción cualitativa de lo observado; estas características cualitativas se representaron con una barra sobre cada imagen de TE.

### Resultados de la TE

En este artículo sólo se presenta un detalle sobre una pileta de pequeñas dimensiones (figura 1 y cuatro imágenes en las figuras 2 y 3).

En general y en todas las imágenes del subsuelo se observa un amplio rango de los valores de res que va desde valores inferiores a los 15ohm.m a valores superiores a 300ohm.m.

En estas imágenes se ha subdividido cualitativamente el perfil geofísico en tres "niveles": "1", "2" y "3"; en cada nivel se han identificado "sectores" con una denominación particular "a", "b", "c", "d", o "e", según corresponda el valor de res con alguna característica física distintiva. Esta calificación es general y también cua-

litativa para todos los perfiles.

- Primer nivel "1", corresponde a la primera capa (\*), cuya res abarca todo el rango medido (15 a 341ohm.m). Este nivel es el más afectado por la contaminación por HC.
- Segundo nivel "2", (\*\*), con un rango que va de 20 a valores superiores a 341ohm.m., estaría un poco afectado por la contaminación de HC.
- Tercer nivel "3" (\*\*\*), cuyo rango de res va de los 55 a menos de 15ohm.m (no presentado en este artículo).

Dentro de estos niveles, y de acuerdo con los valores de res observados, se han encuadrado cualitativamente once sectores aproximados; cada sector en particular tiene una característica que lo distingue del resto tanto en su valor de res como el estado físico en que se encuentra, el que está estrechamente "vinculado" con el grado y tipo de contaminación, sea ésta por HC como modificada por la ioniza-

ción derivada de los productos de desecho de la biodegradación, estos sectores son:

**Nivel 1 (\*):**

- Sector 1:** en estado natural con valores entre 140 a 341ohm.m.
- Sector 1b:** algo ionizadas, conductivas con valores entre 23 a 140ohm.m.
- Sector 1c:** muy conductivas por biodegradación con res inferior a 45ohm.m.
- Sector 1d:** material residual de HC mezclado con suelo enterrado, antiguas piletas tapadas con arena y gravas; muy resistivo, superior a los 350ohm.m. Es el sector de mayor interés desde el punto de vista de la remediación ambiental del subsuelo. Éste se ha identificado en distintos sitios dentro del área investigada.
- Sector 1e:** petróleo, petróleo con arenas o aflorante en forma de “volcanes” de HC con arena con valores de res superiores a los 450ohm.m.

**Nivel 2 (\*\*):**

- Sector 2:** en estado natural con valores de res superiores a los 218ohm.m.
- Sector 2b:** algo conductivas con valores entre 100 y 341ohm.m.
- Sector 2c:** muy conductivas por biodegradación con valores entre 20 y 100ohm.m.

**Nivel 3 (\*\*\*):**

- Sector 3:** basamento conductivo con res entre 23 y 55ohm.m en estado natural.
  - Sector 3b:** algo conductivas con res entre 15 a 55ohm.m.
  - Sector 3c:** zona muy conductiva con res inferior a 15ohm.m.
- En general, es notable un alto grado de degradación de los HC que generaron ácidos y sales orgánicas de carácter conductivo que se infiltraron en el subsuelo en la denominada zona vadosa, que formaron “halos” conductivos con profundidades variables según el grado y la concentración de

HC, dando un perfil descendente con sectores 1c, 2c y 3c.

Otro fenómeno observado en la superficie de los sectores 1d son los “volcanes” de HC con arena; éstos se producen debido a la generación de gases por la descomposición por biodegradación anaeróbica, que juntamente con las elevadas temperaturas de verano generan una licuefacción de la mezcla que permite que los sólidos como arena y grava desciendan por gravedad al fondo de la pileta y se eleven los HC líquidos y generen un sistema dinámico pulsante que produce “coladas volcánicas” líquidas que al contacto con la arena móvil se convierte en una “costra” asfáltica de unos pocos centímetros.

Se destaca que las profundidades de los sectores 1d, como la extensión mapeada, son coherentes con los datos obtenidos por perforaciones.

Los sectores 1c y 2c están dentro de la zona vadosa con profundidades variables desde 2 y 3m a más de 10m en la capa de conglomerados. El sec-

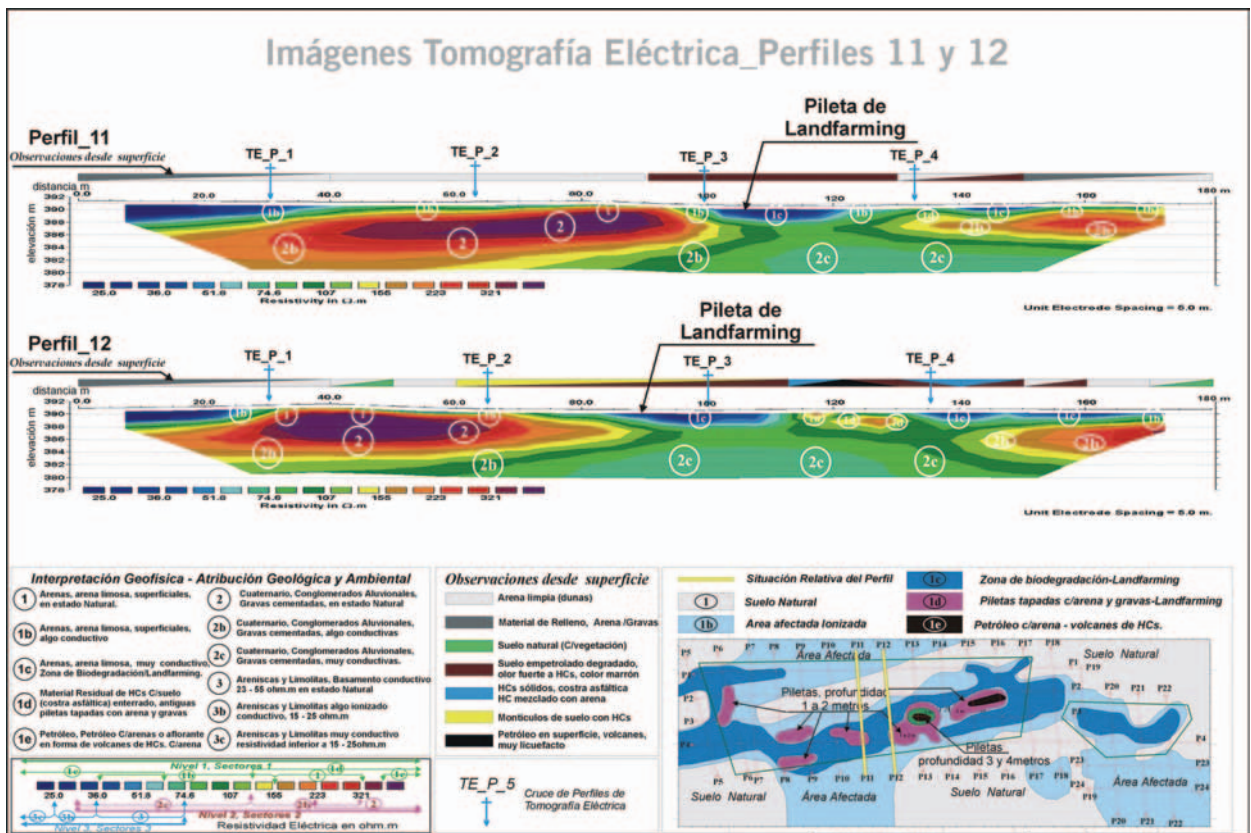


Figura 2. Imágenes de TE sobre piletas con landfarming tapadas con arena. Los sectores 1 y 2 representan áreas en estado natural (de control) no afectados por cambios antrópicos. Se ha incorporado una interpretación geofísica con la caracterización en planta donde se destacan el sector 1e (petróleo con arena), la zona vadosa debajo y a los costados de la misma (1c), y las costras asfálticas 1d. Las observaciones desde superficie destacan características cualitativas.

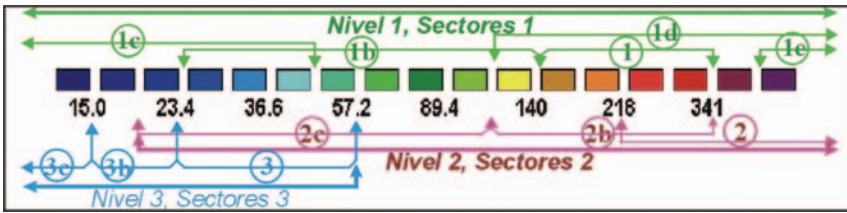


Gráfico 1. Resistividad eléctrica en ohm.m

tor 3c representaría la cola de la pluma conductiva profunda inserta en las areniscas y limolitas.

## Conclusiones

Del análisis de toda la información disponible se concluye que la contaminación por HC promedia los 2m de profundidad y, excepcionalmente, podría llegar hasta los 4m, destacándose que no existe contacto de HC con el acuífero.

Los sectores 1, 2 y 3 representan áreas en estado natural (de control) no afectados por cambios antrópicos.

Las piletas de mayor extensión se encuentran en el centro del área dentro de las imágenes de los perfiles 12, 13, 14, 15, 16 y entre los perfiles 2, 3 y 4.

La superficie total afectada por piletas tapadas que se pudo medir a partir de las imágenes de TE (caracterización en planta) es de 8368m<sup>2</sup>, con un volumen medio de 22.722m<sup>3</sup> de HC mezclado con los sedimentos del área. ■

## Referencias

Atekwana, E. A.; Sauck, W. A.; Abdel Aal, Z .G. y Werkema, D. D., "Geophysical Investigation of

Vadose Zone Conductivity Anomalies at a Hydrocarbon Contaminated Site: Implications for the Assessment of Intrinsic Bioremediation", en *J. Environ. Eng. Geophys.*, Nº 7, 2002, pp. 103-110.

Volkov, Sergey I.; Gorbunov, Aleksandr A.; Shevvin, Vladimir A., *Electrical Properties of Oil-Polluted Grounds Laboratory Measurements*, Moscow State University, Geological Faculty, Dept. of Geophysics, 119899, Moscú, Rusia.

López Hidalgo, Andrés A., "La TE como herramienta de diagnóstico ambiental subsuperficial en la industria del petróleo y del gas", 5º Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, IAPG, Mendoza, 2003.

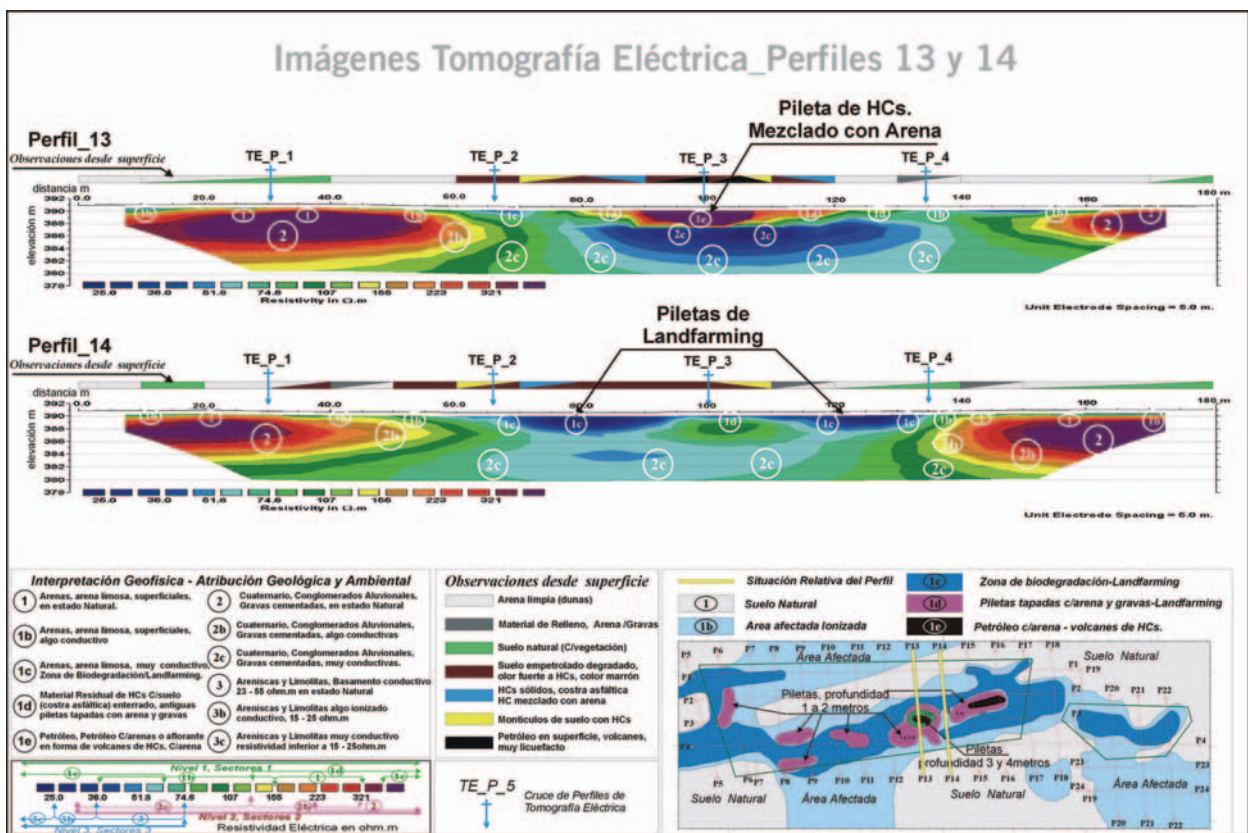


Figura 3. Imágenes de TE sobre piletas con HC y con landfarming tapadas con arena. Los sectores 1 y 2 representan áreas en estado natural (de control) no afectados por cambios antrópicos. Se ha incorporado una interpretación geofísica con la caracterización en planta donde se destacan el sector 1e (petróleo con arena), la zona vadoza debajo y a los costados de la misma (1c), y las costras asfálticas 1d. Las observaciones desde superficie destacan características cualitativas.