

## **CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR ESTACIONES DE EXPENDIO DE COMBUSTIBLES**

*Mario A. Hernández (1)  
Nilda González (2)*

### **INTRODUCCION**

En todas las etapas del proceso productivo de hidrocarburos desde la misma exploración, explotación, transporte, transformación y comercialización, se provocan o puede provocarse efectos contaminantes sobre las aguas subterráneas.

El grado de afectación dependerá del tipo de carga contaminante (fluidos de perforación, aditivos, petróleo, productos livianos, fondos de tanque, residuos petroquímicos), la ocurrencia de la descarga (difusa, puntual), su continuidad (pérdida continua, fuga accidental) y la vulnerabilidad del sistema acuífero.

Como Autoridad de Aplicación de la Ley 17319, la Secretaría de Energía de la Nación produjo una serie de Resoluciones reguladoras de los comportamientos ambientales en la actividad. Así se dictaron las N° 105/92 y 252/93 (Estudio ambiental y monitoreo de obras y tareas de exploración y explotación); la 341/93 (Calificación de riesgo por piletas y su eliminación); la 342/93 (Planes de contingencias) y la 419/94 y 404/94, referidas a tareas de transformación (Refinerías y Plantas GLP) y comercialización (estaciones de servicio).

Se analiza este último tema a partir de sus causas, acceso y dispersión de los combustibles en el medio subterráneo, diagnóstico de las pérdidas y su movilidad.

---

(1) *Cátedra de Hidrogeología Univ. Nac. de La Plata y CONICET*

(2) *Cátedra de Hidrogeología Univ. Nac. de La Plata y Comisión de Investigaciones Científicas de Bs. Aires (CIC)*

## ORIGEN DE LA CONTAMINACION

La contaminación por estaciones de servicio presenta dos características diferenciales respecto de las que pueden producirse en las otras etapas del proceso productivo:

- a.-Fundamentalmente se trata de productos livianos.
- b.-Frecuentemente, la fuente se halla inmersa en plena trama urbana con una multiplicación importante del riesgo de conflagración que puede afectar a un gran número de personas y bienes.

El origen está vinculado al estado de los tanques de almacenaje e instalaciones complementarias, identificados en la Resol. SE 419/94 como Sistema de Almacenaie Subterráneo de Hidrocarburos ( SASH ) y/o al derrame accidental por sobrellenado.

Los SASH más antiguos, metálicos, cuentan con 15-20 años o aún más, incluso sin sistemas de protección ( ánodos de sacrificio o corriente impresa ). Los más recientes son de plástico reforzado con fibra de vidrio, enchaquetados o recubiertos con material no-corrosible o plástico. En el primer caso pueden ocurrir pérdidas o fugas por acción de la corrosión de metales, potenciada por las condiciones especiales del suelo, que deben ser detectadas para su corrección o eventual remediación.

Las pérdidas originadas en derrames por sobrellenado o defectuosa operación de carga presentan en general efectos similares, pero son accidentales e instantáneas.

Cualquiera fuese el origen, corresponde describir los posibles efectos en el régimen subterráneo.

## ACCESO Y MOVILIDAD DE LOS COMBUSTIBLES EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Sucedidas las pérdidas o fugas de los HC, existen dos situaciones diferentes respecto a su acceso y movimiento:

- a. La superficie freática es profunda y el producto accede inicialmente a la Zona No Saturada (ZNS)
- b. La superficie freática es elevada y en contacto directo con el producto fugado.

En el primer caso, la fase volátil puede comportarse como **gas adsorbido** al agua pelicular de los clastos, como **gas libre** que escapa a la atmósfera o como **gas ocluido**

atrapado en la trama del esqueleto clástico ( Fig. 1 ).

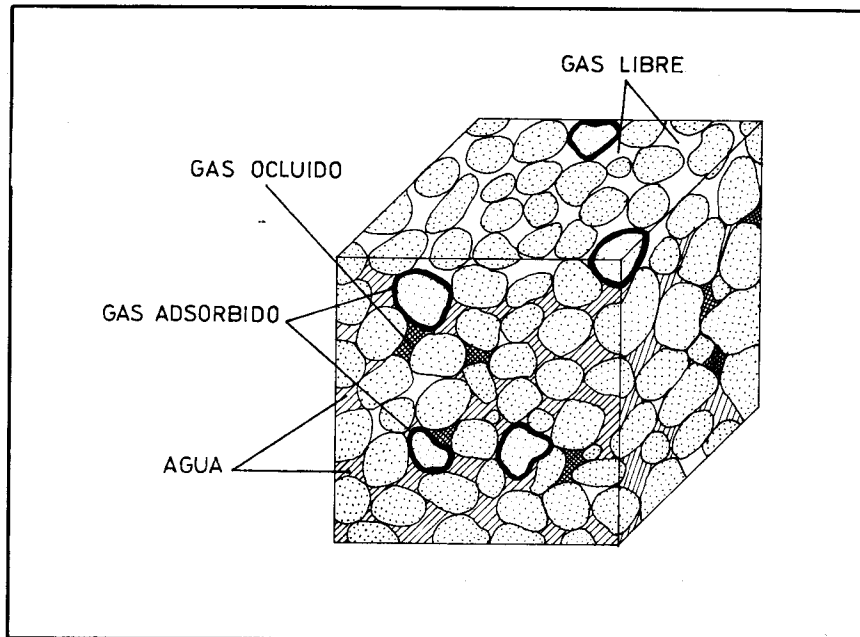


Figura N° 1

La fase líquida no acuosa (FLNA) migra verticalmente por acción de la gravedad, con una menor movilidad en la periferia del cuerpo que en su seno por influencia de la tensión superficial. Si bien el movimiento es similar al de la infiltración del agua, sucede con distinta velocidad en función de las diferentes propiedades físicas de ambos fluidos (en especial la viscosidad cinemática), de la permeabilidad selectiva del medio respecto a ambos y del grado de humedad en la ZNS.

La permeabilidad selectiva depende a su vez de la viscosidad y peso específico del fluido, por lo cual resulta diferencial para uno de ellos. Una determinación ilustrativa es proporcionada por Lexow y Bonorino (1993), quienes obtuvieron valores de permeabilidad de hasta 7.3 veces entre el agua y una mezcla de combustibles, en muestra de terrenos loésicos.

Por tratarse de fluidos inmiscibles, la permeabilidad del medio respecto a uno de ellos depende además del grado de saturación del restante (Collins, 1961). Por lo tanto, a medida que el contenido de humedad de la ZNS aumenta, la movilidad del HC líquido tiende a disminuir.

Esto normalmente sucede en profundidad, pero no implica que una ZNS potente necesariamente deba retener la FLNA, porque en general aquella condición está relacionada con climas áridos y por ende con bajo contenido de humedad.

También influye en la movilidad de la FLNA el punto de saturación irreductible, por debajo del cual el líquido deja de fluir. Este valor es diferente para cada uno de los productos habituales en las Estaciones de expendio: a mayor densidad, mayor valor de saturación irreductible.

Todos estos fenómenos, en especial la movilidad por permeabilidad selectiva, sufren variaciones con la temperatura razón por la cual el clima y sus amplitudes será otro condicionante del desplazamiento de los HC e inclusive del pasaje parcial a fase gaseosa durante el tránsito inicial por la ZNS.

Si la FLNA llega a la zona saturada, se comportará de forma igual a la planteada para la segunda opción (acceso directo al acuífero freático).

Los combustibles que acceden a la capa libre ( Fig. 2 ) directamente por su contacto con el SASH o a través de la ZNS, se establecen en flotación sobre el agua por su menor densidad, conformando la fase libre del nuevo sistema multifásico.

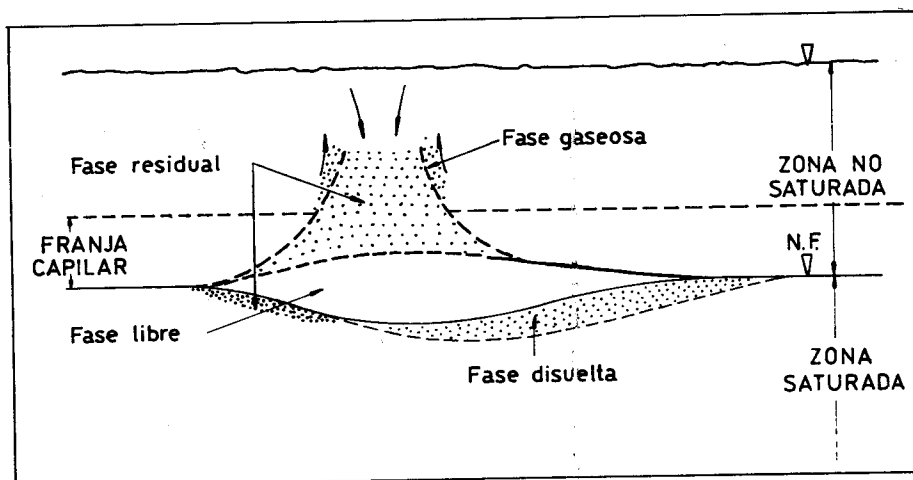


Figura N° 2

Desplazan a un volumen casi equivalente de agua, con una velocidad que es igual a la de ésta en la interfase y su perpendicular ( Collins, 1961; Custodio & Llamas, 1983 )

En el resto de la fase libre, la velocidad de desplazamiento de los HC va estar dada por su viscosidad cinemática y la permeabilidad selectiva del medio, siguiendo el gradiente hídrico natural o el provocado por la extracción en las inmediaciones. Los HC quedan en relación con la franja capilar de acuerdo a su tensión superficial, lo cual va a incidir en la contaminación de esa zona y el sector de su fluctuación (Holzer, 1976).

Tanto por debajo de la fase libre como por delante ( en sentido de flujo ), puede reconocerse una **fase disuelta**, ya que la solubilidad de los combustibles livianos llega hasta 80-90 mg/litro. Las oscilaciones del nivel freático y de la franja capilar van a tender a aumentar la potencia de la fase disuelta por debajo de la libre, y a involucrar mayor porción de la ZNS con efectos residuales de irreductibilidad. También el desplazamiento sub-horizontal de la fase libre va dejando aguas arriba una **fase residual**. Además del flujo dispersivo, también puede reconocerse la solubilidad de los más livianos en la masa acuífera y en el agua de infiltración.

La movilidad de los HC en el agua subterránea puede alcanzar distancias considerables, potenciada incluso por gradientes forzados (explotación). Esto obliga a un análisis hidrodinámico del fenómeno y a un monitoreo eficaz y prolongado.

## **DETECCION DE LAS PERDIDAS Y DIAGNOSTICO DE EFECTOS.**

La norma nacional recoge las especificaciones de la EPA, donde se indica una capacidad de detección de pérdidas de 0.05 galones/hora (190 cm<sup>3</sup> /hora), confiabilidad del 95 % y probabilidad de Falsa Alarma del 5%, todos ellos como valores mínimos.

La detección de las pérdidas del SASH puede realizarse por medio de un control **interno** o **externo**. El primero, en su forma más elemental, se basa en el registro diario del combustible almacenado en los SASH realizado con finalidad comercial. No es un método sensible que permita apreciar pérdidas pequeñas o continuas, aún cuando sistemas estadísticos lo hayan optimizado (Lexow y Bonorino, 1993).

Más confiables son las pruebas de estanqueidad por insuflado de un gas inerte (en general nitrógeno) para advertir caídas de presión equivalentes a las fugas posibles. Estas pruebas son realizadas durante la instalación de los tanques y de acuerdo a la Resol. SE 419/93, deben ser reiteradas con una frecuencia que depende de la edad de los

SASH : nuevos o hasta 5 años, cada 5 años; cinco a diez años, cada 3 años ; entre 10 y 15 años, anualmente. Mejoran la detección hasta el nivel de fugas pequeñas.

Restan las fugas muy pequeñas, cuya continuidad puede afectar sensiblemente al régimen subterráneo e incluso generar acumulación de gases bajo las losas de las Estaciones o migrar hacia sótanos, cámaras de luz, de teléfonos, etc.

Surgen así los controles **externos**, que en vez de tratar de determinar pérdidas a partir de los SASH, auscultan en el terreno (gases ocluidos) o en los acuíferos.

La detección de gases ocluidos se basa en lo descrito en II.: existe una porción de gases provenientes directamente de la fuga o transformados desde la FLNA durante su tránsito vertical por la ZNS, que quedan ocluidos en el armazón clástico y pueden ser recogidos y analizados.

La técnica parte de la introducción en el terreno de un pequeño tubo que lleva adosada a su extremo superior una cápsula con tensión negativa, de modo de recoger los gases por diferencia de presión. Tiene la ventaja operativa de alterar mínimamente las instalaciones por el reducido diámetro del tubo. Las cápsulas selladas son llevadas a laboratorio para el análisis cromatográfico de los HC, en general C1 a C4 y C5+. Se analizan normalmente Metano, Etano, Propano, isoButano, n-Butano, Pentano, Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno, C5+ y BTEX, en términos de desviación de las concentraciones absolutas respecto del background.

La interpretación de los cromatogramas, mapas de isocontenidos y diagramas de concentraciones relativas permiten discriminar el tipo de producto origen e incluso aportar una idea del grado de migración y vías preferenciales. Esta técnica es muy importante cuando se trata de Estaciones dentro de una densa trama urbana, donde no es posible practicar otro tipo de detección externa.

Otro modo externo de percibir las pérdidas es por medio del acuífero receptor, primariamente la capa freática. Se trata de interesar al acuífero por medio de perforaciones de escaso diámetro, para toma de muestras y medición de nivel. Luego de la percepción organoléptica inicial, son remitidas a laboratorio para análisis según una secuencia que intenta combinar los aspectos prácticos y económicos:

- \*Determinación de HC totales por gravimetría (1 a 5 ppm)
- \*Por cromatografía infrarroja (< 1 ppm)
- \*Determinación específica del tipo de HC

La operación sobre el acuífero permite construir mapas equipotenciales, desde los cuales puede advertirse el sentido de escurrimiento, gradientes, velocidad de flujo (en conocimiento de los valores de  $K$  y  $p_e$ ), lo cual avala el uso de esta técnica cuando ello es posible físicamente.

La de gases ocluidos tiene buena aptitud para zonas urbanas, donde no siempre es posible practicar sondeos (incluso por la existencia de losas en las playas de carga) y no existen perforaciones vecinas por contarse con aguas corrientes. Pueden utilizarse para el acceso resquicios en las propias losas y la interpretación del movimiento se logra por cartas de isocontenidos.

En áreas rurales (Estaciones carreteras) es en general fácil realizar sondeos piezométricos e incluso emplear pozos vecinales para construir los mapas de flujo. Lo ideal es combinar ambas técnicas externas, ya que el uso de microrredes de flujo junto con cartas de isocontenidos gaseosos permite además de ubicar las fugas, reconstruir el fenómeno de flujo multifásico y dimensionar la fase libre, poder pronosticar la evolución del suceso y optimizar las medidas de mitigación o remediación de la contingencia.

## ACCIONES DE REMEDIACION

Involucran no solamente al acuífero, sino también a la ZNS (incluido el suelo). La Resolución SE 419/93 recoge algunas de las técnicas que la EPA recomienda, pudiendo mencionarse a título ilustrativo las siguientes:

\* Remoción mecánica de los terrenos contaminados y reemplazo por suelos limpios. Reconoce limitaciones en áreas densamente pobladas.

\* Inyección de aire en el suelo, para producir barrido neumático con recuperación de HC. Depende de la movilidad de la fase residual (de acuerdo al tipo de producto) para producir una limpieza efectiva sin ayuda de otros de los métodos.

\* Inyección de gases de escape de combustión (motores de combustión interna). Se trata de incrementar la fase libre por transformación, y recuperar HC líquidos. Es una técnica barata y eficaz para terrenos de textura arenosa hasta franca o limosa. Puede combinarse muy bien con el método de evacuación de la FLNA por bombeo.

\* Bombeo directo de la fase libre. Se utilizan en general equipos de superficie con chupador "a flote". Cumple parcialmente con el objeti-

vo, optimizable con otras técnicas como la anterior o la aplicación de productos limpiadores.

\* **Bombeo y contención frontal.** Variante de la anterior, utiliza trincheras rellenas de grava, de traza normal al sentido de flujo y profundidad al menos dos y media vez el espesor de la fase libre. Los HC son desalojados por bombeo desde cámaras colectoras.

\* **Bioremediación.** Introducción de organismos vivos (generalmente microorganismos) cuya función es metabolizar los HC y transformarlos en materia orgánica útil al suelo o más fácilmente degradable. Conlleva riesgos ambientales cuando se trata de cepas alóctonas.

\* **Absorción con carbón activado.** Se utiliza en sectores reducidos y con fugas o pérdidas muy puntuales.

\* **Inyección de productos** para degradar o vehiculizar los HC facilitando su remoción por bombeo. Son dispersantes orgánicos (alcoholes) o solubilizantes sintéticos de marca registrada, también utilizados en derrames superficiales.

## BIBLIOGRAFIA

- Collins, R. (1961). "Flow of fluids through porous materials". Reinhold C.E. Series Pub. London.
- Custodio, E. & M.R. Llamas (1983). "Hidrología subterránea". Omega ( 2a. Ed.). Barcelona.
- Freeze, R.A. & J.A.Cherry (1979). "Groundwater". Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.Jersey.
- Hernández, M.A., N.González y R.C. De Felippi (1994). "La actividad productiva petrolífera y su impacto sobre el sistema geohidrológico. Aspectos técnicos y normas" XV Congreso Nac. del Agua. La Plata ( en prensa ).
- Holzer, T. (1976). "Application of Ground Water flow theory to a subsurface oil spill. Ground Water, 14:3.
- Lexow, C. & A.G. Bonorino (1993). "Contaminación del agua subterránea por filtraciones de combustibles de los tanques de almacenamiento subterráneo". Primeras Jornadas Nacionales y Sextas Reg. sobre Medio Ambiente. La Plata (en prensa).