

7. CONTROL TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO DE LOS PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

7.- Control técnico y administrativo de los perímetros de protección

Una vez establecido un perímetro de protección y aprobado por el organismo competente nos encontraremos ante los problemas:

A. Como se analizó en capítulos precedentes, el perímetro implica una restricción en el uso del suelo, pudiendo entrar en conflicto con usos presentes y futuros. La competencia de resolución de estos conflictos queda aclarada en la Ley de Minas Art. 144:

“114. 1. Los actos dictados en ejecución de la presente Ley se registrarán, conforme a su naturaleza, por los preceptos de aquélla y disposiciones reglamentarias; supletoriamente, por las restantes normas de Derecho administrativo y, en su defecto, por las de Derecho privado.

2. Los expedientes incoados con arreglo a esta Ley se instruirán ante la Delegación Provincial correspondiente del Ministerio de Industria. La resolución en última instancia administrativa corresponderá a la Dirección General de Minas, al Ministro de Industria o al Consejo de Ministros, según lo previsto en esta Ley.

3. El mismo carácter y trámite administrativo tendrán las cuestiones que se planteen entre los titulares de derechos mineros o entre ellos y terceros afectados, con motivo de colisión de intereses por incompatibilidad de trabajos, deslindes, superposiciones, rectificación de perímetros de demarcación o de protección e intrusión de labores (188).”

En cada comunidad autónoma habrá que diri-

girse al organismo al que haya transferido las secciones de minas.

B. El establecimiento de un perímetro de protección no garantiza por sí sólo de forma absoluta la calidad del agua extraída en una captación ya que su propia delimitación dista a veces del “ideal teórico” y además la posibilidad de fenómenos accidentales suele ser grande, en especial en lugares donde la intensidad o características de la actividad humana (industrias, vías de comunicación, agricultura, etc.) impongan un fuerte riesgo añadido.

La forma más eficaz de asegurar esta protección consiste en el diseño de un sistema de vigilancia que permita detectar en cualquier momento la presencia de un fenómeno contaminante con un tiempo suficiente para detener el bombeo, y tome las medidas más adecuadas, con el fin de eliminar la contaminación.

La necesidad de establecer un sistema de estas características ha de evaluarse en función de al menos tres parámetros:

- **Riesgo de accidentes contaminantes.** La ponderación de este riesgo resultará sencilla si en la definición del perímetro se realizó un buen estudio sobre focos potenciales de contaminación.
- **Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación,** estudio que también parte de los trabajos previos de definición del perímetro.
- **Exactitud del perímetro.** En principio es adecuado suponer que aquellos perímetros realizados mediante el empleo de técnicas más

elaboradas serán más exactas, proporcionando un mayor nivel de defensa frente a la contaminación.

El sistema de vigilancia, para ser eficaz ha de cumplir al menos dos objetivos:

- Detectar cualquier variación en la composición del agua que va a ser extraída en la captación. Este punto reviste una especial dificultad, sobre todo de orden económico, pues si bien teóricamente la realización de un análisis "completo" solventaría el problema, éstos, en especial la determinación de metales y compuestos orgánicos traza, son muy caros. Será necesario pues, diseñar los análisis en función de los contaminantes que presumiblemente pueden aparecer, además de realizar controles de parámetros menos específicos pero fácilmente determinables (pH, Eh, Tª, Conductividad, etc.) debiendo ser valorada la conveniencia del establecimiento de controles continuos.
- Detectar la contaminación con tiempo suficiente para poder actuar. Para ello será preciso un estudio exhaustivo de los puntos en los que con mayor probabilidad pueda producirse un fenómeno puntual de contaminación, en especial vías de comunicación, depósitos, almacenes, nudos ferroviarios, industrias, zonas de vertido, etc.

No obstante, es conveniente realizar algunas consideraciones en torno a las limitaciones que la propia dinámica del acuífero o de los contaminantes imponen al rendimiento exigido al sistema de vigilancia.

1. El movimiento del agua en el seno del acuífero es, por lo general, un proceso muy lento (excepto en materiales kársticos o fisurados) y pueden transcurrir meses o incluso años desde que se produjo la contaminación hasta que es detectada por el sistema de vigilancia. La velocidad del movimiento del contaminante en el acuífero está determinada fundamentalmente por la del agua (que a su vez, claro está, viene determinada por las características hidrodinámicas del acuífero) tratándose de un parámetro muy variable; basta como ejemplo considerar la diferencia en la

velocidad del agua que puede haber cuando se mueve a través de una grava limpia (valores de $K = 10^{-2}$ m/s o la de unas arenas finas arcillosas (con K del orden de 10^{-9} m/s).

No obstante puede paliarse el problema del retardo entre el momento de la contaminación y su detección, incrementando la densidad de puntos de muestreo en las zonas con posibles focos de contaminación, con la esperanza de obtener una alerta más rápida al disminuir el recorrido que deberá hacer el contaminante entre el vertido y su detección.

2. Los contaminantes sufren variaciones en su naturaleza, debido a procesos químicos o biológicos que modifican su estructura molecular, estos procesos serán más intensos cuanto mayor sea el tiempo transcurrido desde la liberación de la sustancia madre, debida a que el contacto con los agentes modificadores será también mayor.

La principal consecuencia de este hecho consiste en que, con gran frecuencia, la especie química detectada en el punto de control es muy diferente a la que produjo la contaminación primaria.

Los principales procesos que causan la modificación de los contaminantes son:

- El agua, al atravesar el terreno, sufre un filtrado mecánico cuya intensidad dependerá de las características del propio terreno (será menor a mayor tamaño de poro y asimismo, el filtrado es más eficiente cuanto más homogénea es la distribución del poro). Este filtrado es capaz en ciertas ocasiones de retener no sólo ramas, hojas, arena, limos, arcillas, residuos sólidos, etc., sino que pueden llegar a ser retenidas algunas bacterias, algas y hongos.

No se retendrán sustancias en disolución ni líquidos por este proceso, aunque en función de la viscosidad del mismo (grasas o aceites muy viscosos), su avance puede ser muy lento.

El proceso de filtrado es prácticamente inexistente en zonas kársticas o intensamente fisuradas.

- Una vez superada esta fase de filtrado comienza un proceso que perdurará durante todo el recorrido del contaminante por el acuífero. Se trata del fenómeno de dilución, que se produce al irse mezclando con el agua que circula de forma natural. La dilución (especialmente en aguas superficiales) y dispersión de contaminantes, ha sido durante muchos años la única forma de deshacerse de productos no deseables; este método, nada recomendable en aguas de superficie lo es aún menos en las subterráneas, debido no sólo a que no se asegura la destrucción o inactividad del contaminante, sino que además, se produce un fenómeno de almacenamiento de forma que (aunque en un principio los niveles pueden ser aceptables) pueden provocarse situaciones puntuales de sobreconcentración y en cualquier caso a la larga se alcanzarían niveles no adecuados. Por otro lado las características propias del medio subterráneo implican un lento movimiento del agua y por ello una lenta dilución.
- Otro proceso de gran influencia sobre la composición final del agua son los de absorción y adsorción, ambos muy dependientes tanto de la naturaleza del terreno como de los propios contaminantes, el principal efecto producido por estos fenómenos consiste en un fuerte retardo en la circulación del agente extraño por el terreno e incluso puede llegarse a una retención total.

La absorción y adsorción presentan un "límite de saturación" a partir del cual el terreno ya no es capaz de retener más sustancias; cuando se producen fenómenos de esta naturaleza se pueden producir aumentos repentinos y de difícil explicación en la concentración de alguna sustancia que al principio era fuertemente retenida hasta que, llegando al límite de saturación de forma repentina deja de serlo y aparece en las muestras de agua.

Los metales pesados, que pueden ser adsorbidos por otros iones y tradicionalmente se consideraban relativamente inmóviles, han sido descubiertos a grandes distancias de su lugar de vertido. Estos movimientos parecen estar favorecidos por coloides y macromoléculas, dispersándose más rápidamente que el flujo subterrá-

neo medio, si bien su impacto está aún insuficientemente evaluado.

Hasta aquí se han descrito procesos cuyo único efecto es el de retener la sustancia extraña y aunque no modifican directamente su naturaleza, al aumentar el tiempo de contacto con el medio, facilitan la interacción con los agentes modificadores. Se hace a continuación una descripción de éstos:

Procesos de Oxidación-Reducción

Los procesos de oxidación se relacionan generalmente de forma directa por el oxígeno disuelto en el agua, pudiendo oxidarse moléculas con un potencial reductor suficiente. El ambiente más fuertemente oxidante corresponde a los niveles superiores de la zona no saturada, pero también pueden continuar estos procesos en la zona saturada si aún queda oxígeno disuelto o existe algún otro oxidante.

Por otra parte existen procesos microbiológicos anaerobios capaces de producir la oxidación de materia orgánica a partir de la reducción de nitratos, sulfatos o compuestos férricos o mangánicos presentes en el medio.

Estos fenómenos son causa de la precipitación o redisolución de sustancias (es típica por ejemplo la producción de sulfuros insolubles, o la precipitación de sales ferrosas).

Los fenómenos bacterianos anaeróbicos dan lugar a una gran variedad de productos intermedios de reacción, que confieren al agua malos olores (producción de aminas, como la putrescina o cadaverina), malos sabores o incluso coloraciones anómalas. Es de destacar el comportamiento de los compuestos nitrogenados (pues muy frecuentemente son causa de contaminación y son empleados normalmente como índice de la misma). El producto nitrogenado final de degradación que se detecte en el agua dependerá fundamentalmente de las circunstancias redox por las que haya atravesado; así puede encontrarse NO_3^- o éste ser reducido a N_2 o NH_4^+ , a su vez el NH_4^+ se oxida con frecuencia a N_2 , NO_2^- o NO_3^- , etc.

El ión NO_2^- muy raramente se encuentra en las aguas naturales empleándose por ello como seguro indicador de contaminación orgánica; NH_4^+ , S_2^- , SH_2 , pueden ser producto, no sólo de un medio reductor, pues la descomposición de materia orgánica en medio no muy oxidante también los genera.

Intercambio iónico

Cuando existe en el terreno una cierta proporción de minerales de arcilla (algunos polímeros orgánicos naturales también provoca estos fenómenos) se producen procesos de intercambio iónico, mediante los cuales pueden quedar retenidos de forma permanente iones como el amonio o, el potasio, o lo que es más frecuente variar la relación de concentraciones de iones como Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , Li^+ , Sr^{++} . Nótese como el amonio que es en general un buen indicador de contaminación, puede llegar a ser retenido de forma irreversible por los materiales del suelo, es éste un claro ejemplo de cómo puede llegar a modificarse el contenido original en algunas sustancias del agua, debido a la interacción con el medio.

Desintegración radiactiva

Como ya se ha explicado el movimiento del agua en el acuífero puede ser muy lento, si se produce una contaminación por isótopos radiactivos de muy corta vida (por ejemplo los empleados en medicina y biología como trazadores I-131 con una semivida de ocho días, el Na-24 con semivida de 15 h. o el K-42 con semivida de 2,5 h.) puede suceder que su presencia llegue a ser indetectable mediante las técnicas normalmente empleadas en análisis de aguas cuando llegue al punto de control.

Fenómenos de precipitación y coprecipitación

Para valores de pH comprendidos entre 6 y 8 se provoca la formación de hidróxidos férricos y mangánicos [$\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Mn}(\text{OH})_3$] que al ser insolubles precipitan arrastrando consigo por fenómenos de precipitación y coprecipitación,

cationes pesados y algunos aniones como F^- o $(\text{PO}_4)_3^-$.

Otra de las causas frecuentes de precipitaciones es la formación de sulfuros insolubles a partir del SH_2 procedente de la actividad bacteriana reductora.

Los contaminantes orgánicos serán transportados por el agua, mejor o peor, en función de su polaridad; los compuestos polares se disuelven con el agua formando puentes de hidrógeno, mientras que los apolares son generalmente inmiscibles.

La principal vía de degradación de estos compuestos es la metabolización bacteriana, pudiendo producirse tres tipos de procesos:

- Activación, si el producto resultante es más tóxico que la sustancia madre.
- Detoxificación o inactivación, si el metabolito pierde sus propiedades tóxicas.
- Degradación, si la molécula pierde complejidad al ser metabolizada, la degradación puede dar lugar a una nueva molécula, más o menos tóxica que la primitiva.

La adsorción y volatización son también de gran peso en el caso de sustancias orgánicas.

3. Una muestra de agua tomada en un punto representa, en el mejor de los casos la calidad de un área muy restringida. En realidad, la extensión de este área es muy variable dependiendo básicamente de las características hidrodinámicas del acuífero. Cuando se esté ante un acuífero de alta permeabilidad, donde el agua se mueve de forma relativamente rápida, el área representada por cada punto de muestreo será mayor; también será mayor en acuíferos muy homogéneos. No obstante, como se ha dicho, ese área será siempre reducida.

4. Una vez introducida una sustancia en el seno del acuífero suele ser muy difícil de eliminar (a veces imposible), en especial cuando las características propias del medio impongan un movimiento muy lento al agua.

Establecida la necesidad de un sistema de vigilancia así como los objetivos que ha de cumplir y sus limitaciones, se debe establecer de forma práctica su diseño. En la publicación titulada "Diseño de redes para el control de la calidad del agua subterránea" ITGE (en prensa) se hace un estudio detallado de la metodología para el diseño y optimización de redes de control. El éxito del sistema dependerá de un gran número de circunstancias difícilmente valorables de forma general, pero desde el punto de vista del diseño estrictamente, se puede decir que tendrá éxito si es posible responder adecuadamente a tres cuestiones:

- ¿Dónde han de ser localizados los puntos de control?
- ¿Qué determinaciones físicas o químicas es necesario realizar?
- ¿Cual será la frecuencia de muestreo?

Los puntos de control estarán situados en el área de acuífero que alimenta a la captación, de forma que corten las líneas de flujo hacia ésta, a una distancia tal que permitan una actuación en el intervalo entre la contaminación, la detección, y su llegada al sondeo. Además los puntos de control deberán estar próximos a los focos potenciales de contaminación.

La frecuencia de muestreo viene dada por las características dinámicas del acuífero, siendo mayor cuando dicha dinámica implique un rápido movimiento del agua (acuíferos muy permeables como los kársticos o fisurados) pues presentan una rápida respuesta al vertido.

También es necesario valorar el tipo de contaminante que presumiblemente puede encontrarse, pues su naturaleza física (sólido disuelto, o en suspensión, líquido miscible o no con el agua, gases), sus propiedades físico-químicas, el nivel de absorción y adsorción por el terreno, el factor de biodegradabilidad, fotosensibilidad, reactividad con compuestos del medio o con otros contaminantes, etc., son factores de fuerte influencia sobre la frecuencia idónea de muestreo. Así por ejemplo, una sustancia muy tóxica pero rápidamente neutralizable por algún agente del medio (sería el caso de algunos venenos orgánicos biodegradables) podría provocar la aparición de intoxicaciones puntuales difíciles de determinar si la red no dio la alarma a tiempo y el producto ya ha sido degradado.

Esta fácil transformación de algunas sustancias es causa por otro lado, de que en función del tiempo transcurrido entre la toma de muestras se puedan detectar especies químicas de diversa naturaleza, todas procedentes de una misma sustancia original.

Por último, los parámetros a controlar serán definidos según el tipo de actividad contaminante predominante en la zona ya sea industria (metalúrgica, textil, papelera, etc.), agricultura, actividad urbana, etc.

Ha de hacerse una mención especial de aquellos casos en los que exista riesgo de procesos de intrusión marina, pues el control de la posición del frente de intrusión requiere por lo general de la instalación de un sistema de registro continuo (conductividad, y T^a, al menos) en cuantos puntos se estime necesario.