

LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. SITUACIÓN EN ESPAÑA

Andrés Sauquillo

Departamento de Ing. Hidráulica y Medio Ambiente Universidad
Politécnica de Valencia

RESUMEN: El interés sobre las aguas subterráneas y la preocupación sobre su contaminación ha aumentado de forma importante en los últimos años y se manifiesta en el incremento de las investigaciones y en el número de publicaciones científicas. La contaminación de las aguas subterráneas es un fenómeno lento que hace que tarde en manifestarse, que se detecte con dificultad y que su limpieza sea muy lenta y cara, siendo esta además imposible para algunos contaminantes. La calidad de los acuíferos españoles es poco conocida, excepto en lo referente a los nitratos. Prácticamente no existe ningún control sobre vertidos y prácticas contaminantes que se realizan asiduamente sobre acuíferos que se utilizan para abastecimiento humano y no existe suficiente personal especializado en las Confederaciones Hidrográficas y otros organismos de las administraciones central autonómica y local para llevar a cabo este control.

El Plan Hidrológico Nacional contiene errores conceptuales graves sobre las aguas subterráneas, y las medidas legales que propugnan no van a preservarlas de la contaminación sino más bien todo lo contrario.

Se hace necesario un cambio drástico en la política y estrategias de control de la contaminación, la promulgación de normas y la dotación de personal cualificado para llevar a cabo el control de la contaminación, así como la financiación necesaria para su ejecución.

INTRODUCCIÓN

El interés sobre las aguas subterráneas ha venido aumentando en los ambientes técnicos y científicos de todo el mundo y de forma muy especial en los últimos años. La razón es el uso creciente que se hace de ellas para satisfacer las necesidades de abastecimiento, riego e industria. En los Estados Unidos el agua subterránea es la principal fuente de agua potable; abastece más del 50% de la población, y proporciona más del 40% de las necesidades de riego. En la Comunidad Europea la población abastecida con aguas subterráneas alcanza el 70%, siendo Dinamarca con el 99% el país con mayor participación de ellas. Incluso hay países con superabundancia de agua superficial y con geología desfavorable, con predominio de terrenos graníticos o poco permeables, en los que el porcentaje supera al 10%, como Suecia o Canadá, país que posee casi el 9% de los recursos de agua dulce del mundo. En España, a pesar de la poca atención dedicada a las aguas subterráneas y a los errores continuados sobre sus posibilidades de los responsables de la planificación

hidráulica, la utilización es lo bastante significativa como para merecer una atención preferente a su gestión y que se las defienda de la contaminación. En nuestro país se riegan con ellas casi un millón de hectáreas, y lo que es más importante suministran las necesidades de más de un tercio de la población. El interés de la contaminación de las aguas subterráneas aumenta por causa de su relación con las superficiales y por depender de ellas ecosistemas del mayor interés localizados en zonas húmedas.

Es muy significativo el aumento de los titulados dedicados a las aguas subterráneas en los Estados Unidos entre 1960 y 1988 pasando del 27% al 54%, descendiendo los que se dedican a las superficiales que pasan del 63% al 38% y reflejan un aumento de interés por los problemas del agua subterránea y su contaminación (NRC.1991). Quizás son aun más significativos los datos que da Sooroshian (1992) sobre la evolución entre los periodos de 1978-82 y 1988-92 de

los temas en los artículos publicados en *Water Resources Research*, sin duda la revista más prestigiosa en el campo de la Hidrología. Actualmente dominan con mucho los relacionados con las aguas subterráneas y en particular los relacionados con contaminación, flujo no saturado, flujo en medios poco permeables, métodos estocásticos y análisis de incertidumbre de los modelos de flujo y transporte de masa. Estos temas han surgido del gran impulso que está teniendo la investigación sobre la contaminación de las aguas subterráneas y para el análisis de almacenamiento de productos tóxicos y radiactivos.

SITUACIÓN EN ESPAÑA

En España no se ha dedicado a este problema la atención que merece; apenas existen estudios a escala nacional sobre la contaminación de nuestros acuíferos, fuera de los de reconocimiento y de carácter muy general y tampoco se le da en el Plan Hidrológico Nacional. La contaminación por nitratos ha sido la más estudiada (ITGE 1985, 1987, y 1988; MOPT 1990; Várela 1993), pero es mucho más preocupante la posibilidad de contaminación por sustancias tóxicas o cancerígenas. Sobre unos contaminantes tan importantes y con seguridad ubicuos en nuestro país como son los insecticidas y pesticidas, productos petrolíferos o metales pesados, hay muy pocos estudios. Sobre el resto de contaminantes o de actividades susceptibles de degradar la calidad de las aguas subterráneas, no se conocen más que estudios a gran escala o algunos de carácter muy local u ocasional. Los compuestos orgánicos, entre los que se encuentran la mayor parte de los hidrocarburos clorados, pueden originar cáncer. Otros tienen efectos tóxicos más o menos agudos, y de otros se sospecha que pueden tener efectos mutagénicos o teratogénicos. La contaminación de productos orgánicos sintéticos, muchos de los cuales son incoloros inodoros e insípidos a las concentraciones en que se suelen encontrar, solo ha empezado a preocupar desde hace unos veinte años. Anteriormente no se hacían análisis rutinarios de ellos, pero ya hay muchas referencias sobre contaminación en muchos acuíferos. En un estudio reciente de la EPA se realizó una toma de datos muy amplia de pozos de abastecimiento doméstico y de pozos rurales. En este estudio se encontró que más del 10% de los pozos de abastecimiento, y más del 4% de los rurales contenían pesticidas o sus metabolitos en, o por encima de los límites de alerta.

En Estados Unidos aunque existe discrepancia en cuanto a la extensión de la contaminación por pesticidas, hay preocupación sobre los efectos de una exposición prolongada a los agroquímicos, sobre todo entre los agricultores (Blair et al, 1985, citado por Varchney et al,

1992). En España no se hacen análisis de productos orgánicos de forma sistemática, y solo se han publicado o aparecen referencias de determinaciones en puntos aislados. El estudio más amplio que conocemos es el realizado por el CEDEX en relación con un convenio con la DGOH para estudiar la contaminación de origen agrícola en diversas cuencas españolas, en las que se han encontrado pozos con concentraciones elevadas de varios contaminantes orgánicos (CEDEX 1992 a y b, 1993, y Várela 1993). Desgraciadamente la metodología empleada para la toma de muestras y elección de pozos a analizar carecía de los datos hidrogeológicos mínimos necesarios para poder interpretar adecuadamente los resultados, por lo que solo se les puede otorgar un valor orientativo.

La contaminación puntual de los acuíferos españoles con productos tóxicos, con mucha probabilidad no es todavía grave en líneas generales, aunque con seguridad existen más zonas o manchas de contaminación que las detectadas o se sospecha que puedan existir, como es de temer por la absoluta falta de control y de estudios sobre el medio ambiente en general y sobre la contaminación de las aguas subterráneas en particular. Son comunes los vertidos en superficie, o en cauces de barrancos o ríos intermitentes, de residuos sólidos y líquidos sin ninguna clase de control o permiso. En muchos acuíferos a lo largo de la costa mediterránea, en zonas en las que el porcentaje de población que se abastece de ellos supera habitualmente al 50%, hay cientos de pozos construidos para "eliminar" residuos industriales y es frecuente la ausencia de control sobre vertidos potencialmente contaminantes: cromados, tintes, curtidos, transformados metálicos, etc. La falta de control se extiende a prácticamente todas las actividades susceptibles de contaminar. Esto es mucho más preocupante que el elevado contenido en nitratos de zonas amplias de estos acuíferos. Pero aun lo es más el desentendimiento total de la administración hidráulica española y de las administraciones autonómicas y locales sobre este problema. Esto en un país con un desarrollo social económico y tecnológico como el español y a casi ocho años de haberse aprobado la nueva Ley de Aguas, habiendo sido uno de los motivos más aireados la necesidad de su promulgación para gestionar los recursos hidráulicos subterráneos.

Es necesario proteger las aguas subterráneas, conocer la extensión y gravedad de la contaminación, y controlar los acuíferos en los que se hayan detectado alguna. Actualmente en las Confederaciones Hidrográficas apenas existe ni personal técnico, ni auxiliar, con formación hidrogeológica y las tareas de tipo burocrático absorben la mayor parte de su tiempo. Por otro lado, en ocasiones, se han adoptado o propugnado

acciones que han consistido en sustituir el aprovechamiento del acuífero por otra fuente de agua con la excusa de estar contaminado. Y ello antes de hacer un estudio lo suficientemente detallado de su extensión y de las alternativas posibles, lo que en la práctica equivale a alentar o al menos permitir que se agrave la posible contaminación. Esto ha ocurrido con el acuífero de la Plana de Valencia del que se estaba abasteciendo a toda la población residente excepto la de la capital. En buena parte se ha sustituido por agua procedente del río Júcar, y a un coste de decenas de miles de millones de pesetas, argumentando el alto contenido en nitratos del acuífero. No se conoce que se haya realizado un estudio, con el detalle suficiente sobre la extensión de la contaminación en el acuífero en el que sin duda hay zonas, en los bordes y en las áreas de recarga en las que el contenido de nitratos es menos elevado, si la contaminación por debajo del nivel freático disminuye con la profundidad, como varía con la colocación de las rejillas en los pozos, y tampoco se han analizado los procesos naturales de reducción de los nitratos, o si es aconsejable la explotación del acuífero inferior en el que el contenido de nitratos es mucho menor además de ser menos accesible a otros tipos de contaminación. La decisión de cambiar de fuente de abastecimiento dejará en la práctica, indefenso contra la contaminación a un acuífero especialmente valioso, que podría jugar en el próximo futuro un papel de primer orden. Y lo mismo ocurrirá con otros acuíferos si se aprueba el PHN, tanto por lo que se expone en la memoria y en la letra del anteproyecto de ley, que después comentamos, como por su espíritu.

En relación con esto es revelador la absoluta falta de referencia al estado de la calidad de los acuíferos en España y a la escasa y poco relevante sobre la de las superficiales en los informes oficiales sobre el estado del medio ambiente en nuestro país (MOPUT 1992).

El que todavía no se hayan descrito en nuestro país muchos casos de contaminación de aguas subterráneas con productos tóxicos se debe sin duda a alguna de las siguientes causas: lentitud del flujo de los contaminantes tanto en la zona saturada como en la no saturada, aumentados por los procesos de absorción y cambio iónico, pequeñas dimensiones de las manchas de contaminación, por lo que puede tardar en manifestarse su aparición en los pozos de abastecimiento urbano, la ausencia casi total de estudios detallados de contaminación, (Custodio 1991) y las pocas determinaciones específicas de muchos compuestos. Todo esto hace que la situación sea muy preocupante. El que los estudios realizados hasta ahora sean en su mayoría de tipo de reconocimiento y de carácter general no da seguridad sobre la limpieza de nuestros acuíferos.

A lo largo de este artículo se pretende analizar las diversas alternativas existentes y las que parecen ser más adecuadas a la situación actual española.

COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes penetran normalmente al acuífero desde la superficie del terreno, teniendo que atravesar el suelo y la zona vadosa. La zona radicular puede tener un espesor variable entre algunos decímetros y algo más de un metro. Es la zona en la que se producen degradaciones de origen físicoquímico más importante en los contaminantes. La acción de las plantas, la fijación microbiana y otras acciones biológicas pueden absorber, fijar, eliminar, o hacer precipitar a algunos contaminantes. En zonas más profundas hay menos actividad biológica, aunque también hay otros fenómenos que intervienen en la eliminación de contaminantes o en su retardo, como la adsorción y oxidación. Parece claro que la atenuación es más activa en el suelo que en el resto de la zona vadosa y en esta que en la zona saturada. Aunque se han descubierto procesos de biodegradación en ambiente anaerobio, y hay compuestos que después de persistir en ambiente aerobio se metabolizan en medio anaerobio. La zona no saturada, constituye la primera defensa contra la contaminación de un acuífero, por lo cual se debe evitar la entrada directa de los contaminantes a la zona saturada. En cualquier caso el vertido de contaminantes en pozos, fosas, excavaciones, o cursos de agua efímeros o intermitentes es más peligroso y debe evitarse. El papel amortiguador de la zona no saturada se debe a las razones expuestas antes, y a que la velocidad del flujo en ella es sumamente pequeña. Son corrientes velocidades medias del flujo descendente en la zona no saturada de un metro por año y pueden ser mucho menores en climas áridos y semiáridos, precisamente en los que debido a la menor cuantía de la recarga suele estar más profundo el nivel piezométrico. También son reducidas las velocidades del flujo en la zona saturada, excepto en algunos acuíferos cársticos, aunque superiores a las de la no saturada, del orden de decenas de metros año o como mucho de pocas centenas.

En medios fisurados hay también transferencia de contaminantes entre el agua que fluye en las fracturas y el agua mucho más inmóvil en la matriz porosa, aunque en fisuras anchas este intercambio puede ser pequeño para poder diluir de forma importante al contaminante que fluye por ellas. A menos que la roca matriz sea muy impermeable la mayoría de la recarga cuando la infiltración es pequeña fluye por la matriz porosa y no lo hace por las fisuras. Esto da lugar a tiempos de llegada largos, si la zona no saturada es

grande. Para infiltraciones grandes, después de lluvias intensas, o en el caso de infiltración de aguas superficiales, el flujo puede localizarse en su mayor parte a través de las fisuras. El acceso del flujo al sistema de fisuras y por tanto de los contaminantes esta controlado por el espesor y contenido de humedad de la zona de suelo que actúa de amortiguador de los pulsos de recarga (Skinner 1985).

Las aguas subterráneas están más protegidas de la contaminación que las superficiales. Así se ha considerado tradicionalmente y no han recibido tanta atención en el pasado como estas, pero en muchos casos los problemas que plantean son mucho más relevantes. Hasta ahora los esfuerzos que se han realizado en España para eliminar la contaminación de los ríos, aunque han sido relativamente limitados han podido dirigirla hacia los acuíferos, dada la carencia total de controles en estos, y lo mismo ha ocurrido en otros países (Kerns 1977).

La contaminación tarda en llegar a los acuíferos, se propaga con lentitud tanto en la zona no saturada como en la saturada. Aunque la complejación y la presencia de coloides hace posible que se removilen algunos contaminantes, y que incluso se muevan a mayor velocidad que la media del flujo subterráneo. Pero no se ve, y puede ser peligrosa aun en cantidades pequeñas de algunos contaminantes. Cuando aparece en un pozo de abastecimiento, conducto subterráneo, manantial, río, lago, o zona húmeda puede haber adquirido dimensiones grandes. Todo esto hace que algunos contaminantes puedan permanecer durante siglos o milenios en un acuífero y que incluso una contaminación actual pueda ser ocasionada por actividades que han desaparecido. Análogamente actividades actuales pueden afectar a la calidad del agua subterránea dentro de muchos años. Por último, también algunos cambios hidrológicos como por ejemplo la subida del nivel freático debido a un aumento de la recarga o a una disminución de bombeos o a inundaciones pueden afectar a la movilización de contaminantes y a la salud humana (Reichard et al 1990).

Aunque en algún país europeo, y sobre todo en Estados Unidos con el programa "Superfund" se está abordando la limpieza de algunos acuíferos, y se han realizado grandes avances tanto teóricos como tecnológicos en este campo su eficacia es pequeña y su coste es en general grande y en muchos casos muy elevado (LeGrand y Rosen 1992).

Recientemente se emprendió la limpieza de una mancha de 70 m³ de gasolina en el delta del Llobregat producida por la rotura de un oleoducto, (Custodio et al 1993), pero es poco realista pensar que se vayan a

realizar limpiezas como esta en gran escala en plazo breve en España. Incluso muchas manchas de contaminación son imposibles de limpiar en la practica como pasa con la fase libre o residual de hidrocarburos o disolventes orgánicos clorados, (Bredehoeft 1992).

En cualquier caso la persistencia de la contaminación es mucho mayor en las aguas subterráneas que en las superficiales en las que suele desaparecer al poco tiempo de eliminarse la fuente que la produce. La concentración de los contaminantes en los acuíferos es con frecuencia ordenes de magnitud mayor que en los ríos debido a la ausencia de mezcla y a tener menor dispersión que en estos. Otra diferencia, importante para planificar su control, que se encuentra entre ambas situaciones es que la concentración de contaminantes varia muy lentamente en las aguas subterráneas y con rapidez en las superficiales, en las que la concentración que se encuentra en caudales altos suele ser la respuesta a la contaminación distribuida y la que se encuentra en los caudales bajos suele estar relacionada con la puntual.

Las fuentes de contaminación de los acuíferos se describen en numerosos tratados bien conocidos, y no voy a insistir en ellas, ni en las diferencias entre la contaminación puntual y la distribuida que requieren planteamientos e intervenciones diferentes. Patrick et al (1987) analizan datos proporcionados por la EPA y casi todos los estados de Estados Unidos, concluyendo que la mayor parte de casos de contaminación están relacionados con las siguientes causas o contaminantes: vertidos industriales y municipales no controlados, productos petrolíferos, compuestos orgánicos, pesticidas y fertilizantes, cloruros y radiactividad. Los medios de detección o causas por las que han aparecido han sido los siguientes: Investigación, aparición en pozos, aparición en aguas superficiales, descubrimiento de vertidos o filtraciones, explosión, aparición de humos o vapores en edificios, pavimentos, túneles, o alcantarillados, contaminación de suelos, enfermedades, muerte de animales, pozos de inyección, etc.

Para resolver el problema creado se han emprendido distintas acciones. Una serie de estas trata de reducir o cambiar el proceso, p. e: impermeabilizar el vertedero, reducir la carga de nitratos, cubrir pilas de sal, impermeabilizar el área afectada, cambiar de sitio el vertido a un punto más adecuado, impermeabilizar la balsa de infiltración, modificar el saneamiento, sellar el pozo de inyección, profundizar el pozo de bombeo, reducir o paralizar en invierno la extensión de residuos en el suelo o la aplicación de aguas residuales en el terreno, relocalizar una corriente o flujo superficial de agua, cerrar o relocalizar fosas sépticas, etc... Un segundo tipo de medidas procura la aplicación de

estándars estrictos de vertido, o normas ingenieriles muy rigurosas, impermeabilización, extracción del suelo contaminado, hacer drenajes, etc... El tercer tipo de medidas consiste en eliminar la actividad, añadir algún proceso que resuelva el problema, como cerrar el vertedero o la industria productora de los residuos, abandonar los pozos de suministro, bombear y tratar el agua, mezclar el agua con la de otra procedencia, utilizar filtros de carbono activo, contener la contaminación con pantallas impermeables, proceder a la degradación biológica, o limpiar el acuífero. En otros casos se ha procedido a compensar económicamente o litigar. Y por último en muchos se procedió a instalar una red de observación para poder determinar la extensión de la contaminación y su evolución.

CRITERIOS Y ESTRATEGIAS PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las alternativas de protección de los acuíferos son tres: no degradación, limitar la degradación, y protección diferencial, (Henderson et al 1993).

El primero es el criterio que defienden las organizaciones ambientalistas más radicales. Para evitar totalmente la contaminación de las aguas subterráneas, tendrían que eliminarse muchas actividades humanas, p. e. las estaciones de servicio, los vertidos de residuos, carreteras, ciudades, silvicultura y agricultura. En el mundo real estas y otras actividades están, y estarán, asociados con una probabilidad de introducir sustancias peligrosas en el medio subterráneo (LeGrand y Rosen 1993). Kerns (1977) también afirma que aunque el "laissez faire" no es aceptable ambientalmente, no se puede aceptar la no degradación si hay necesidad de deshacerse de los residuos. En algunas zonas urbanas o muy industrializadas la opción de no degradación es sencillamente irrealizable.

La degradación limitada pretende mantener lo más alta posible la calidad del agua subterráneo, admitiendo que pueda haber alguna degradación. Es una postura más realista que la anterior y tiene la flexibilidad de poder exigir menos protección para acuíferos ya contaminados, aunque los ambientalistas argumentan no sin razón sobre el peligro que supone el otorgar una especie de licencia para contaminar.

El criterio de protección diferencial estriba en proteger los recursos subterráneos solo en la medida necesaria para poder satisfacer los usos presentes y futuros. Con el se distingue entre acuíferos o regiones de acuerdo con sus características geológicas, población, profundidad y vulnerabilidad a la contaminación. Permite poner más énfasis en preservar de la contaminación a unos cuantos acuíferos con potencial

grande o con calidad de agua elevada, y aplicar controles menos exigentes en otras zonas. Presupone que todos los acuíferos no son

igualmente valiosos, ni vulnerables y que las prioridades de protección deben establecerse de acuerdo con ello. Un argumento en su contra es la dificultad de predecir el desarrollo futuro, el aumento y distribución de la población, y las necesidades de agua para las generaciones futuras (Henderson et al 1987).

Lo que parece de todo punto inadmisibile es no ya el "laissez fair" si no la dejadez actual de la administración española que esta más próximo a lo que Foster (1985) da como características de los países en desarrollo cf: vertidos indiscriminados, carencia de personal y recursos institucionales, ausencia de vigilancia y control, carencia de estudios sistemáticos y falta de redes de control de contaminación.

El paso siguiente al de fijar los criterios de protección, es el de establecer estrategias de gestión que establecen como aplicar los distintos requerimientos y reglamentos para lograrla.

Hay algunas estrategias básicas diferenciadas aunque en la practica se suelen adoptar opciones híbridas que pueden ser distintas para diferentes zonas o acuíferos. Entre ellas están:

- Clasificación de acuíferos según su calidad, uso, o vulnerabilidad.
- Clasificación de actividades y contaminantes dando prioridad a la toxicidad y al volumen descargado.
- Aplicación uniforme de normas a todos los recursos subterráneos utilizables.
- Protección de zonas de recarga.

Se pueden utilizar dos tipos de clasificación de acuíferos, unos que valoran la vulnerabilidad, como el sistema DRASTIC de la EPA para valorar la vulnerabilidad a la contaminación en cualquier situación hidrogeológica, o el programa RUSTIC también de la EPA que evalúa el riesgo de contaminación por pesticidas teniendo en cuenta su degradabilidad y las características de las zonas radicular, vadosa y saturada (Varshney et al 1992). El segundo tipo de clasificación se utiliza para aplicar los criterios de protección. El que utiliza la EPA define las siguientes clases de acuíferos:

Clase I: Especial. Son de valor extraordinariamente alto y están caracterizadas bien como: a) una fuente irremplazable de agua potable disponible para una población importante, o b) ecológicamente vital.

Clase II: Fuentes actuales y potenciales de agua potable o que tienen otros usos. Con dos subclases: II A en uso; y II B potenciales.

Clase III: Fuentes de pequeña utilidad y que no son potencialmente utilizables. Con dos subclases: III A con conexión alta a intermedia; y III B con interconexión pequeña con otros acuíferos o las aguas superficiales inmediatas.

La planificación del uso del suelo tiene que ver con la clasificación de acuíferos, con la de contaminantes y actividades y con la protección de zonas de recarga y perímetros de protección en los que se prohíben ciertos tipos de actividades o el manejo de ciertos productos. Skinner (1985) y Foster (1985) discuten los inconvenientes de aplicar el criterio de zonas de protección por su inflexibilidad ante el crecimiento o cambios en la explotación.

TÉCNICAS ESPECÍFICAS DE PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS

Las técnicas específicas para controlar o corregir la contaminación de los acuíferos forman las bases de un programa de protección de las aguas subterráneas. Estas técnicas pueden tener alguno de los siguientes componentes (Patrick et al 1987):

- a) **Normas de calidad de las aguas subterráneas.** Utilizadas de forma aislada estas normas no son preventivas, solo pueden tener una función reactiva cuando se sobrepasa alguno de sus límites.
- b) **Controles de fuentes.** Se aplican directamente a las fuentes de contaminación con el fin de prevenir esta. Pueden incluir permisos, limitaciones de efluentes, zonas de descarga, normas de proyecto de vertederos, impermeabilizaciones, pozos de inyección, etc, y prescribir prácticas para gestionar la contaminación no puntual.
- c) **Regulaciones referentes a los pozos y al agua.** Normas de construcción y abandono de pozos. Normas para reciclado y reutilización del agua. Normas de construcción de vertederos, de impermeabilización de balsas de vertidos y su mantenimiento. Normas para el riego con aguas residuales o aplicación de vertidos en el suelo. Manejo y transporte de pesticidas o productos tóxicos. Proyecto de depósitos enterrados de productos petrolíferos y tóxicos.
- d) **Controles de uso del suelo.** Zonación, restricciones y normas de construcción en particular en las zonas de recarga. Perímetros de protección.

En nuestro país no existen una serie de normas,

redactadas con criterios hidrogeológicos para la protección de acuíferos sobre construcción de pozos, vertederos, balsas de vertidos líquidos, tanques de productos petrolíferos o tóxicos, abandono y sellado de pozos etc...imprescindibles para conseguir una protección eficaz de las aguas subterráneas. Pero hay que decir que para conseguir esta protección es fundamental la decisión firme de ponerlas en práctica y la participación de las administraciones y corporaciones autonómicas y locales.

- e) **Redes de control.** Puede haberlas de dos tipos: de observación y evaluación o de alarma. Las primeras deben estar operadas exclusivamente por la administración, las de alarma relacionadas con alguna actividad potencialmente contaminante sujeta a permiso o concesión administrativa, podrían quedar bajo la responsabilidad y mantenimiento de los operadores de la actividad que ocasiona el vertido sujetas a la supervisión y control de la administración.

Las personas interesadas en conocer como se están aplicando alguna de estas técnicas a zonas concretas pueden consultar a Page (1987), donde se percibe la actitud decidida de defender a los acuíferos de la contaminación, radicalmente diferente a la que comentábamos se ha adoptado en la Plana de Valencia, donde por el contrario se ha podido dar la impresión de que esta se ha tomado como excusa. Butler (1987) describe las medidas que se adoptaron para proteger el agua subterránea del acuífero calizo de Edwards, en Austin, Tejas, de la degradación y contaminación con sustancias químicas no tóxicas, aunque también se tenía presente el peligro de contaminación con productos tóxicos. La contaminación se puede producir a partir de la infiltración de la escorrentía urbana con sus componentes de bacterias, productos petrolíferos, nutrientes, metales, pesticidas, etc... El reto es particularmente difícil al estar localizado en una zona de rápido crecimiento urbanístico y estar las calizas prácticamente desprovistas de suelo que puedan ofrecer alguna protección. Para conseguirlo se utilizan una serie de medidas ingenieriles, gestión del uso del suelo y ordenanzas. La densidad del uso del suelo se hace depender de la densidad de la red de drenaje al estar esta correlacionada con la permeabilidad y la posibilidad de infiltración de la escorrentía superficial. Se recoge la escorrentía superficial en redes de saneamiento y en canales revestidos que se vierten en balsas de decantación y filtración, aislándose en particular la primera escorrentía que suele ser la que tiene mayor concentración de productos contaminantes. También hay un control químico del agua recogida

después de cada tormenta que se envía automáticamente por control remoto al centro de recogida de datos. Las ordenanzas recogen hasta la obligatoriedad de realizar la limpieza de aparcamientos de más de 500 m² con aparatos de limpieza al vacío.

El valle de Santa Clara en California también ofrece un ejemplo sumamente interesante de protección de acuíferos, Lewcock (1987). La zona, con casi millón y medio de habitantes, se ha beneficiado de su clima excepcionalmente benigno y de una situación geográfica privilegiada para acoger a una de las actividades más dinámicas y florecientes, el de la industria electrónica y de circuitos integrados, de donde le viene su actual nombre de Silicon Valley, una meca del desarrollo de altas tecnologías. Y con esta distinción han llegado los problemas de contaminación de acuíferos.

El agua superficial local y el agua importada se utilizan en gran medida para recargar los acuíferos que tradicionalmente han gozado de una calidad excelente y se suministraba sin tratamiento. Además de miles de tanques de gasolina hay cientos que almacenan solventes y otros productos orgánicos que utiliza la industria electrónica, que por razones estéticas las ordenanzas obligaron a colocar enterrados. El primer accidente importante se produjo en 1979 en una fábrica de IBM en la ciudad de San José por vertido de un tanque de solvente, lo que provocó una gran alarma. Esto ocasionó un análisis muy detenido de la situación por parte de una "Task force" que organizó un estudio muy detallado para identificar los problemas latentes, y para tomar las medidas de prevención necesarias. Se redactaron unas ordenanzas que obligan a pedir permisos de almacenamiento a todas las industrias que almacenan ciertos materiales, a cumplir unas normas de detección rigurosas, a reemplazar los tanques o algunos elementos, y a cumplir normas de construcción muy exigentes que sean capaces de reducir al mínimo el peligro de vertido y en todo caso detectarlo. Para todas las industrias se exigen elementos de detección. A una estación de servicio puede exigírsele la instalación entre dos y seis pozos de observación y a una instalación importante hasta más de veinte. Además se requieren sondeos previos a la instalación de los pozos de observación para asegurarse si existe contaminación en ese momento. Los pozos deben ser instalados de forma que sean capaces de detectar pérdidas existentes o posibles tanto de tanques como del sistema de tuberías, que en general presentan mayor peligro. También se requiere que los métodos de perforación no lleguen a ser un conducto para la extensión de la contaminación. Además de los elementos de observación se requiere un programa de observación. Finalmente la ordenanza

requiere la inspección de una agencia pública. Uno de los problemas más graves es el de la limpieza de los acuíferos, los estudios necesarios para determinar las manchas de contaminación y la eliminación del agua contaminada pues en la mayor parte de los casos la limpieza se hace bombeando el agua contaminada.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas es necesario evaluar y controlar su calidad. Esta tarea requiere bastante más que la toma de muestras análisis y publicación de resultados. Es particularmente interesante el programa iniciado hace unos pocos años por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, cf Hirsch et al (1988) de quienes tomamos gran parte de los ideas de este apartado y que son útiles tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas, aunque se pondrá el énfasis en estas últimas. Es un programa nacional que no intenta reemplazar otros programas de escala más local de prevención, alerta o "monitoring", o temáticos. Sus objetivos son proporcionar los datos y descripciones geográficas de la calidad del agua, ayudar a localizar y describir las zonas con agua de calidad degradada o con agua de buena calidad, dar descripciones estadísticas y tendencias temporales de la calidad del agua, y por último explicar las condiciones observadas relacionando la calidad observada con los factores naturales y humanos, definiendo las causas de las variaciones geográficas y temporales y proporcionando una base para predecir los efectos de los instrumentos de gestión en la calidad del agua. Esto es algo que lo diferencia radicalmente de lo realizado y propuesto hasta ahora en nuestro país. Además este programa denominado NAWQA identifica problemas locales cuya investigación se propondría para ser incluida en otros programas del USGS. Otro aspecto sumamente importante, es que cada zona de estudio es llevada a cabo por un grupo pequeño de personas familiarizadas con la cuenca o sistema acuífero. De esta forma, la evaluación tendrá la ventaja de contar con los conocimientos de estas personas. El desarrollo de las interpretaciones de los resultados también se hace en gran medida por los que toman los datos.

Lo que diferencia al proyecto NAWQA de lo realizado hasta ahora y de lo propuesto por el proyecto SAIGA (cfr Gil 1994) en nuestro país, es la componente conceptual y explicativa y el intento de dar coherencia a los componentes de calidad del agua con todo el conjunto de datos hidrológicos y de utilización del territorio, en el que además se pretende sacar el máximo partido al factor humano y a la experiencia de los componentes de los equipos de trabajo. Pienso que

es peligroso mezclar los objetivos de vigilancia con el de adquisición e interpretación de datos, si es que estos objetivos están claros. Y que el estado actual de la técnica no permite la interpretación automática de los datos de calidad y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. También disiento en la necesidad o conveniencia de disponer los datos de calidad en tiempo real, o en la de un control centralizado de cientos de estaciones de alerta y de muestreo periódico a través de satélite. El sistema puede ser tan ineficaz y costoso como lo ha sido el SAIH para la previsión de avenidas. Y da la impresión de que lo que se pretende en este campo al igual que con el Plan Hidrológico Nacional es presentar a la opinión pública acciones espectaculares que requieren inversiones muy importantes.

Al ser el NAWQA un programa de evaluación, en vez de vigilancia, las actividades principales en cada zona son periódicas en vez de continuas. Para las aguas superficiales las actividades de toma de datos se hace durante períodos de tres años seguidos por períodos de seis en los que la actividad de toma de datos y análisis está disminuida. De esta forma solo un tercio de las unidades de estudio de aguas superficiales esta en una fase activa de toma de datos. Al cambiar más lentamente la calidad del agua subterránea el ciclo para estas es más largo que los 9 años de las aguas superficiales. La selección de las medidas químicas a realizar es difícil, en particular de los compuestos orgánicos. Se estima que en la actualidad se utilizan más de 60.000 compuestos orgánicos sintéticos, siendo desconocido el número de subproductos y de productos degradados de estos y solo se analizan unos pocos. Esta es una de las muchas razones por las que no se realizan los mismos análisis en cada zona y hay una revisión periódica de los compuestos a analizar. Tampoco se realizan los mismos análisis para aguas superficiales o subterráneas. En estas son prioritarios los compuestos orgánicos volátiles y algunos insecticidas.

Para el muestreo de las aguas subterráneas solo se deben utilizar los pozos que tengan ciertas características. Se necesita información de las características hidrogeológicas locales y de la construcción de los pozos para poder interpretar correctamente los resultados y poder asegurar que el pozo es adecuado para tomar muestras del constituyente en cuestión. La variabilidad espacial de la calidad del agua suele ser grande tanto en planta como en profundidad. En relación con las aguas superficiales, las subterráneas tienen la ventaja de que los contaminantes se desplazan muy despacio y que la calidad cambia más lentamente. Además excepto en el carst o en rocas fracturadas la contaminación procedente de aguas superficiales tiende a disminuir

con la profundidad. La mayor parte de los contaminantes solo se han utilizado intensamente en los últimos cincuenta años y en muchos casos estos contaminantes no han alcanzado grandes profundidades por causa de la lentitud del flujo subterráneo, de los procesos de absorción y de transformaciones químicas y biológicas. Para hacer una selección adecuada de los puntos de muestreo es esencial tener un modelo conceptual correcto de la hidrogeología de la zona, que incluya las zonas de recarga, flujo y descarga, conexiones hidráulicas entre acuíferos y con las aguas superficiales y como pueden modificarse por los bombeos. Esta información es esencial para ayudar a identificar que zonas del acuífero y en que medida pueden estar afectadas más probablemente por las actividades humanas.

Idealmente, la evaluación debería conducir a una caracterización tridimensional de la calidad del agua de los acuíferos. Como esto no es factible en la mayoría de los casos hay que buscar un compromiso para tornar muestras entre las diferentes partes del sistema. Muchas veces el énfasis hay que ponerlo inicialmente en los problemas de la calidad del agua de las partes más superficiales de los acuíferos más usados o en las zonas de recarga. La información de la calidad en estas zonas combinada con la información sobre las líneas de flujo subterráneo se utilizará como guía para el muestreo de las aguas subterráneas más profundas. La calidad de las zonas de recarga o más superficiales tiene más probabilidades de estar correlacionada con el uso del suelo y las actividades humanas en la superficie.

Los pozos con rejillas en las proximidades del nivel freático en acuíferos libres pueden ser útiles para la detección precoz de la contaminación y para la correlación de los cambios en la calidad con los cambios en el uso del suelo. La frecuencia de muestreo variara entre los pozos. Inicialmente se tomaran muestras estacionalmente o mensualmente para detectar oscilaciones de período corto que pueden confundir las tendencias a largo plazo. Los pozos de la red con agua más joven se muestrearán con mayor frecuencia que los que contienen agua más vieja al ser más probable que cambien con más rapidez. Después de un período inicial el intervalo entre toma de muestras puede extenderse a varios años para muchos pozos.

LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANIFICACIÓN HIDRÁULICA

La política hidráulica española gira desde hace un siglo alrededor de las ideas de Joaquín Costa y los regeneracionistas, que confiaban en el riego como motor del

progreso de España. Actualmente la presión sobre el agua es mucho mayor y los problemas planteados son radicalmente distintos a los del pasado. En la comunidad científica internacional, y en las sociedades más avanzadas, el foco de la preocupación se ha trasladado a los problemas ambientales y de contaminación. Igualmente se ha pasado de confiar casi exclusivamente en las grandes obras de ingeniería, a dar cada vez mayor importancia a la gestión de los recursos hidráulicos. Las necesidades para riego representan con mucho el volumen más importante de la demanda, cerca del 90%, y la más difícil de satisfacer. Si consideramos que en España son inviables sin un fuerte subsidio la mayoría de los proyectos de riego, la existencia de problemas de excedentes agrícolas y la tendencia de la Política Agraria Común de reducir la producción, no parece oportuno ejercer una presión adicional sobre un recurso sensible escaso y caro. Si no es para aumentar los regadíos, son innecesarios casi todos los trasvases y muchas de las grandes obras que se proponen en el PHN. Un Costa redivivo, a buen seguro que no defendería esta política hidráulica anacrónica y miope a las puertas del siglo XXI.

La preocupación ambiental en el PHN es escasa, estando muy lejos de seguir las tendencias actuales. Son alarmantes las carencias en lo referente a la protección contra la contaminación del agua y en particular de las aguas subterráneas. El mantenimiento de la calidad de las aguas subterráneas es fundamental en un país con recursos hidráulicos escasos como el nuestro. Se puede argumentar que la lentitud de los mecanismos de contaminación haría posible el mantenimiento de la situación actual, con una degradación progresiva aunque lenta de la calidad que crearía problemas solo de carácter local o regional aunque serían cada vez más graves. Es un problema de carácter moral y ético el detener esa degradación y dejar a las próximas generaciones una herencia de acuíferos limpios y utilizables para que puedan hacer el mejor uso posible de los recursos hidráulicos.

En las zonas o con escasez de recursos, el deterioro de la calidad o la contaminación representa una disminución de disponibilidades, y es preciso realizar una gestión conjunta de todos los recursos disponibles que contemple tanto la cantidad como la calidad (Shuval 1980). La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas, presenta más oportunidades para conseguir aumentar las disponibilidades y mejorar la calidad del agua (Wiener 1980). Es una postura absolutamente distinta de la que se propugna en el PHN, que confía la solución de los problemas ambientales y de calidad exclusivamente al desarrollo de las obras hidráulicas y los trasvases.

En opinión del autor de este artículo el PHN tal como esta redactado no responde a las necesidades futuras de nuestro país. Y no porque contenga errores de bulto sobre las aguas subterráneas y sus posibilidades de

utilización que inducen a la adopción de alternativas inadecuadas, o porque las herramientas técnicas utilizadas sean poco avanzadas, (Sahuquillo 1994), ni siquiera por ser fundamentalmente un plan de obras y no un plan de recursos hidráulicos, sino porque entre sus objetivos no es prioritaria, sino marginal, la necesidad de mantener la calidad del agua y preservarla de la contaminación y tampoco lo son los aspectos ambientales.

Cualquier alternativa para realizar una planificación hidrológica moderna pasa por cerrar con siete llaves las ideas de Costa. En primer lugar hay que definir y adoptar unos objetivos adecuados, adelantándose a los problemas futuros. Y eso requiere un consenso entre los diversos agentes sociales, exponiendo y discutiendo con transparencia total todas las alternativas, costes reales y beneficios, tratando de aliviar las tensiones creadas. Los problemas más importantes a dilucidar serían, entre otros : política de regadíos, política ambiental y de control de la contaminación, y la realización de una gestión eficaz y moderna de los recursos hidráulicos con una participación real y efectiva de las fuerzas sociales implicadas.

Un elemento importante para conseguir una gestión eficaz sería la transformación progresiva de las actuales Confederaciones Hidrográficas, de organismos fundamentalmente constructores en a organismos de gestión y operación, para mejorar la eficiencia del uso del agua y la conservación de su calidad. Con una gestión como la que podrían realizar estos organismos, bastantes de los problemas de cantidad y calidad que están provocando carencias y conflictos graves, serían con seguridad mucho menos agudos o estarían resueltos, y la solución de los restantes se conseguiría de una forma más satisfactoria y eficaz.

Entre tanto pienso que en materia de aguas subterráneas es urgente que la administración inicie las siguientes tareas:

- Definir políticas y estrategias de conservación de las aguas subterráneas.
- Realizar urgentemente los estudios necesarios para caracterizar el estado de los acuíferos.
- Dotar a las comisarías de personal con formación adecuada para las tareas de gestión y control de la contaminación de las aguas subterráneas.
- Proveer las necesidades financieras para realizar estas tareas.
- Redactar los reglamentos y normas necesarios.
- Adoptar las medidas legislativas necesarias.

REFERENCIAS

- Bredehoeft, J (1992) *Much contaminated ground water can't be cleaned up*, Groundwater. Vol. 30, nº6, pp 834.
- Butler, K.S. (1987) *Urban Growth management and Groundwater protection: Austin, Texas*. In Page 1987 op ct.
- CEDEX (1992 a) Estudio de la contaminación de origen agrícola en las aguas subterráneas de zonas detríticas. Cuenca del Guadalquivir. Informe parcial nº 1. DGOH-MOPT.
- CEDEX (1992 b) Estudio de la contaminación de origen agrícola en las aguas subterráneas de zonas detríticas. Cuenca del Júcar. Informe parcial nº 3. DGOH-MOPT.
- CEDEX (1993) Estudio de la contaminación de origen agrícola en las aguas subterráneas de zonas detríticas. Cuenca del Duero. Informe parcial nº 5. DGOH-MOPT.
- Custodio, E. (1991) *Some aspects of Groundwater Pollution in Spain. The Institution of Water and Environmental Management. Annual Symposium 1991. "Groundwater pollution and aquifer protection in Europe"*.
- Custodio, E., J.Carrera., X.Sánchez-Vila, A.Medina, M. Manzano y G. Galarza (1993) *Modelling a large oil spill in the aquifer of the Llobregat Lover Valley, Barcelona, Environmental Pollution*. ICEP 2, pp 369-376.
- Foster, S.S.D. (1985) *Groundwater pollution protection In developing countries. In Theoretical Background Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones. V6 IAH. International Contributions to Hydrogeology*. Ed Heise.
- Gil García, F.J. (1994) *La política de calidad de las aguas en España. Aguas subterráneas: Sistemas de control y vigilancia. Proyecto SAIGA. Análisis y evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas*. AIH Alcalá de Henares. T.I, pp 3-22.
- Henderson, T.R., J.Trauberman y T.H.Gallager (1984) Groundwater Strategies for State Action. The Environmental Law Institute, Washington,D.C.
- Hirsh, R.M., Alley, W.M. y Wilber, W.G. (1988) Concepts For A National Water-Quality Assessment Program. U.S. Geological Survey Circular 1021. Department of the Interior.
- ITGE (1985) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Informe de síntesis.
- ITGE (1987) Estudio de la influencia de los pesticidas en la calidad de las aguas subterráneas.
- ITGE (1988) Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por vertidos sobre el terreno.
- Kerns, W.R. (1977) Public Policy on Groundwater Quality Protection. Proceedings of a National Conference. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- LeGrand, H.E y L. Rosen (1992) *Common Sense in Ground-Water Protection and Management in the United States*. Groundwater. Vol 30, nº 6.
- Lewcock, T. (1987) Santa Clara Valley (Silicon Valley). California, case study. In Page 1987 op c.
- MOPUT (1992) Informe sobre el Medio Ambiente en España
- NRC (1991) *Opportunities in the Hydrological Sciences, Committee on opportunities in the Hydrological Sciences*. Water Science and Technology Board. Commission on Geosciences, Environment and Resources. National Resources Council. National Academic Press.
- Sahuquillo, A. (1994) *El tratamiento de las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional ROP*. Enero, pp 41-54.
- Page, G.W. Ed. (1987) Planing for Groundwater Protection. Academic Press.
- Shuval, H. (1980) Water Quality Management under Conditions of Scarcity. Academic Press.
- Skinner, A. Ch. (1985) *Groundwater Protection in Fissured Rocks. In Theoretical Background. Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones. Vol 6. International Contributions to Hydrogeology*. International Association of Hydrogeologists. Ed Heise.
- Sorooshian, S. (1993) *Editorial. Water Resources Research*. Vol 29, Nº 1, pp 1-3.
- Várela Sánchez, M. (1993) Calidad y contaminación de las aguas subterráneas. Jornadas sobre las aguas subterráneas. Real Academia de Ciencias. Madrid. Preprint.
- Varshney, P, U.Sunday Tim, y C.E. Anderson (1992) *Risk-Based Evaluatlon of Groundwater Contamination by Agricultural Pesticides*. Groundwater. Vol 31, Nº 3, pp 356-362.
- Wiener, A. (1980) *Levels of Control in Water Quality Management under Conditions of Scarcity*. In Shuval,H. Water Quality Management. Academic Press.