

ESTRATEGIAS PARA PROTEGER LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CONTAMINACION

Fernando LÓPEZ-VERA¹

RESUMEN

La inclusión en las agendas y el ciclo político de estrategias de gestión de calidad de las aguas, es un proceso que suele ser largo y que se produce como resultado de presiones sociales y mediáticas. Hasta la fecha las estrategias de conservación de la calidad, cuando se han formulado se han centrado en la protección de la captación de agua, mediante perímetros de protección que se determinan mediante el área de captura, el tiempo de tránsito, comportamiento hidráulico del acuífero o la distancia de la fuente de contaminación. Otras líneas de actuación más amplias se dirigen al acuífero, estableciendo una cartografía de vulnerabilidad a la contaminación y de redes de control, mediante pozos y piezómetros de observación y muestreo, en correspondencia a la importancia social y económica del recurso.

Estas estrategias han resultado insuficientes, siendo necesaria la integración de estas medidas en programas más amplios que contemplen el manejo de contaminantes control de vertidos en origen y la ordenación del territorio

Palabras Clave: Perímetros de protección de pozos, vulnerabilidad de acuíferos, aguas subterráneas, programas de gestión de calidad del agua.

ABSTRACT

The inclusion of strategies for the management of water quality in the political agendas is a long process which is achieved by means of social and mediatic pressures. To date, these strategies have been focussed on the protection of water captation, using perimeters of protection which are determined by the captation area, the transit time, the hydraulic behavior of the aquifer, or the distance from the pollution source. Other working lines are centered in the aquifer, establishing a mapping of its pollution vulnerability and control networks, using test pits and piezometers of observation and sampling, considering the social importance of the resource. These strategies are insufficient and it is necessary an integration of these measures in broader plans which take into account the handling of contaminants, the control of wastes in their origin and the ordenation of the territory.

Key Words: Perimeters of protection, aquifer vulnerability, ground waters, programs of management of water quality.

Introducción

De acuerdo con el Diccionario de la Lengua Española, estrategia es, "en un proceso regulable, el conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento"; en la práctica la toma de decisión suele estar retro-alimentada con interacciones complejas lo que provoca que se vayan adoptando decisiones sucesivas, vinculando y limitando las anteriores a las subsiguientes. De esta forma las decisiones primeramente adoptadas son más estratégicas que las adoptadas con posterioridad. Por tanto,

las alternativas consideradas en fases iniciales son más estratégicas que las contempladas con posterioridad. En los tres niveles de actuación: toma de decisión, análisis de alternativas y evaluación, los niveles estratégicos suelen tener un mayor grado de abstracción que los niveles posteriores que suelen tener un nivel mayor de concreción.

Suele considerarse que el nivel más abstracto corresponde a la "política", considerada como la idea y guía de una acción. Los niveles progresivamente más bajos de

¹ España. Universidad Autónoma de Madrid. E-mail: fernando.lopez-vera@uam.es

actuación: planes, programas, proyectos, van presentando también una mayor concreción. Un "plan" es el conjunto de objetivos coordinados y ordenados temporalmente para aplicar la política y un "programa" la articulación de una serie de "proyectos" de actividades discretas, con una localización específica por lo general y con un presupuesto económico.

En la práctica la distinción entre políticas, planes y programas no es clara, pues es frecuente que una política se formule a través de un plan o programa, sin que exista una formulación expresa de la misma. A ello debemos añadir la complejidad del ciclo político y de la toma de decisión así como la diversidad de contextos institucionales en que se gestan.

En todos los foros internacionales sobre medio ambiente o recursos hídricos se alerta sobre los peligros de contaminación de las aguas subterráneas y la necesidad de que los gobiernos adopten medidas para proteger los acuíferos como fuentes de suministro de agua potable y aunque los gobiernos suelen adherirse firmando estos principios, la inclusión en las políticas nacionales es muy irregular en función de que existan o no grupos de presión que hagan incluir medidas concretas en la agendas políticas, López-Vera, F (2002 a). En los casos de mayor peligro o donde surgen problemas graves de contaminación suele ponerse en marcha proyectos de establecimiento de perímetros de protección alrededor de las

captaciones y en el caso de áreas extensas se suele realizar una cartografía de vulnerabilidad de acuíferos, para orientar la ordenación de actividades potencialmente contaminantes en el territorio. Esta estrategia que se viene aplicando desde hace unos cuarenta años se ha mostrado insuficiente para una efectiva protección de las aguas subterráneas.

LA COMPLEJIDAD DEL PROCESO DE DECISIÓN Y LOS CONTEXTOS INSTITUCIONALES

La toma de decisión sobre la necesidad de proteger un acuífero o actuar sobre él, depende de cómo sea percibido el problema mediáticamente, por la opinión pública, por los intereses económicos puestos en juego y por la influencia de los grupos de presión, López-Vera, F (2002 b)

Normalmente esta influido por el papel ideológico y orientador de las políticas, frente al más pragmático de los planes y programas, pero el proceso de decisión política suele presentarse por simplicidad de forma lineal, como ilustra la figura 1. La inclusión en las agendas políticas depende de la construcción social de la realidad en la que la percepción cuenta más que la misma realidad. Desde este punto de partida, las decisiones suelen adoptarse en contextos de urgencia, bajo la presión de diversos intereses, presiones políticas y económica e imperativos burocráticos.

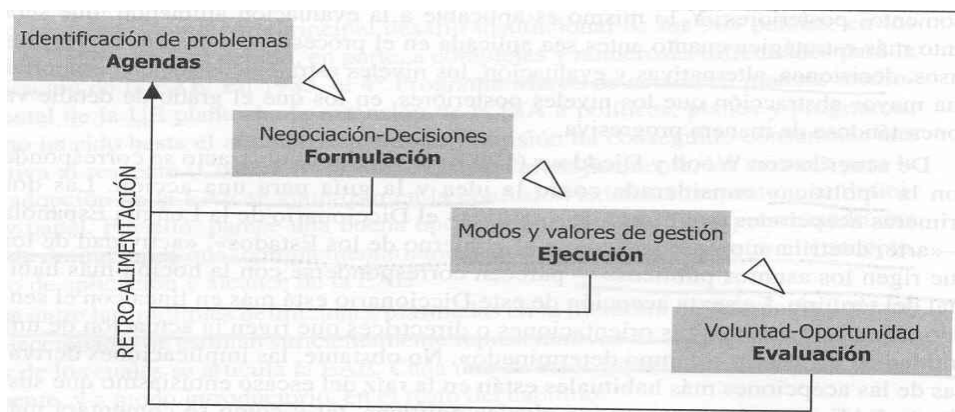


FIGURA 1.- EL CICLO POLÍTICO SEGÚN OÑATE ET AL (2002)

En la fase de formulación, adquiere más peso la intervención técnica, entra el análisis de coste-beneficio, complementados con técnicas multicriterio, utilización de indicadores, análisis de riesgos y comparación de escenarios. En la ejecución, interviene una dimensión operativa, que incluye la definición de objetivos, el diagnóstico, la elección de opciones, la delimitación más precisa de los ámbitos de

aplicación, la asignación presupuestaria, y un largo etc.

La última fase que racionalmente debería cerrar el ciclo político de la toma de decisión, la evaluación, es desafortunadamente la que suele recibir menos atención, pues los políticos suelen ser remisos a que se evalúen sus actuaciones, que puedan poner en peligro su reelección o mantenimiento del estatus, lo que muestra la escasa racionalidad en la que se desenvuelve el

ciclo político. Pues la evaluación debería realimentar el ciclo.

La toma de decisiones se inscribe a su vez en un marco temporal, que suele corresponder a

la legislatura o mandato político, y se da en un marco institucional variado así como muy diversos niveles administrativos.

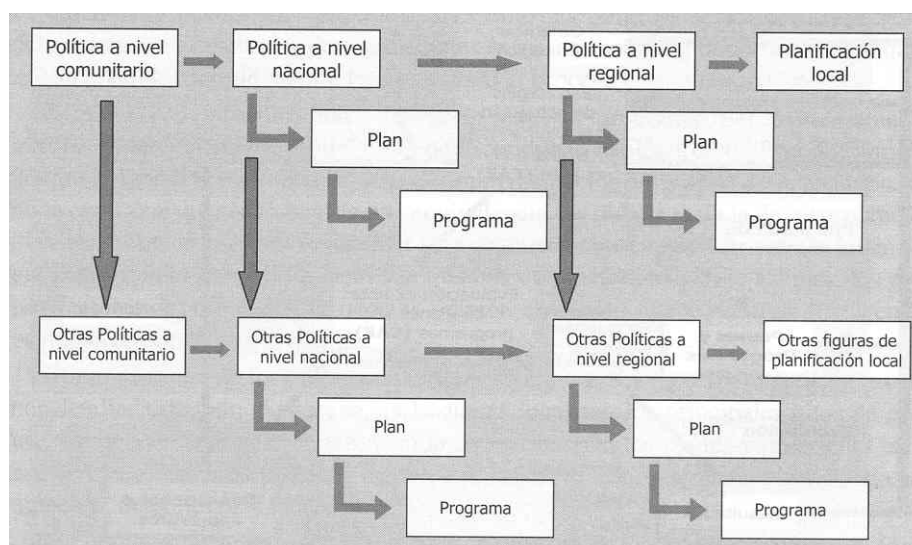


Figura 2 - Relación entre figuras de planificación cuando se consideran diferentes niveles administrativos, según Oñate, et al (2002)

Hay que considerar la existencia de diversos niveles de administración desde la supranacional a la local, en los cuales se repite el ciclo de planificación de forma encadenada como muestra la figura 2. La revisión de una política al máximo nivel, a través de la producción de, por ejemplo, una directiva, un reglamento, un libro blanco o un programa marco, desencadena no solo la actualización de otras políticas al mismo nivel, sino también la revisión de políticas, planes y programas relacionados con los niveles inferiores, tanto de planificación como administrativos.

Los diagramas anteriores permiten explicar el proceso global de una política y la sucesión de decisiones, que van tomándose hasta su ejecución completa y operativa. Sin embargo, dos factores alejan en cierta medida la realidad de la planificación del marco teórico descrito. En primer lugar, el proceso secuencial de la planificación no siempre se sigue de forma estricta, ni se desarrolla con la coherencia que los conceptos teóricos parecen imponer. En segundo lugar, y como ya se ha comentado, existen dificultades objetivas para distinguir entre lo que es una política, un plan y un programa, pues esta relación no siempre es lineal como se ha apuntado con anterioridad. Con lo cual no siempre se sabe en qué fase o en qué nivel se encuentra cada figura de planificación.

Estrategias convencionales en la protección de la calidad de las aguas subterráneas

La importancia de las aguas subterráneas para el abastecimiento es un hecho reconocido, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 9-16, 2002.

sin embargo pocos países han puesto en marcha acciones sistemáticas para proteger los acuíferos tanto en cantidad como en calidad. La práctica normal es adoptar medidas una vez que han surgido los problemas por sobreexplotación o contaminación, medidas que con frecuencia se han mostrado insuficientes.

Frente a la contaminación las estrategias más usuales han sido establecer perímetros de protección alrededor de las captaciones y el establecimiento de una cartografía de la vulnerabilidad de los acuíferos y ordenar de acuerdo con ella las actividades que puedan ser potencialmente contaminantes, Henderson, T.R et al (1984); Foster, S, et al (1992) e Hirata et al (1999). Con menos frecuencia se combinan ambos métodos de protección y aun es menos frecuente que se apliquen de forma sistemática.

Perímetros de protección de captaciones

La forma más antigua de proteger una captación (pozo o manantial) de una contaminación es restringir el uso del terreno que la circunda, Canter et al (1987). Este procedimiento ya se utilizaba en Europa desde el siglo XIX, pero es a partir de la década de 1930 cuando se aplica con criterios científicos, al establecerse que los pozos debían estar alejados de las fuentes potenciales de contaminación al menos una distancia tal que permita que el tiempo de tránsito del agua subterránea sea al menos de 50 días, que se consideraba suficiente para eliminar los microorganismos patógenos. Esta idea es recogida en la normativa sanitaria de numerosos

países. En Estados Unidos de América se recoge también en la Safe Drinking Water Act, promulgada en 1986.

Según ha ido progresando el conocimiento del flujo del agua subterránea y el transporte de contaminantes se ha definido la Zona de Captura, como el área que contribuye directamente a la captación y que es función de las condiciones hidrogeológicas y de los caudales de bombeo de los pozos y de descarga de los manantiales. El concepto de Perímetro de Protección ha quedado como una figura normativa en la legislación, que en ocasiones se limita a establecer radios fijos arbitrarios. Uno de los problemas radica en aproximar el concepto de Área de Captura al de Perímetro de protección, esto es la transposición sencilla de los datos hidrogeológicos a la normativa legal. Otro radica en la sensibilidad del método utilizado para el establecimiento del área de captura, en el sentido de las dificultades que pueden causar las heterogeneidades del acuífero, junto a la falta de información necesaria. Hirata, et al (1999) revisan nueve de los métodos utilizados en el establecimiento de los Perímetros de Protección que dan como resultados diferentes trazados. Concluyendo que el método más preciso es el numérico, basado en la modelización matemática del flujo y transporte del contaminante, si bien su principal desventaja es la gran cantidad de datos y por tanto su alto costo.

Otro método igualmente fiable es la aproximación de los tiempos de tránsito, basado en datos hidroquímicos e isotópicos para definir direcciones y flujo, (López-Vera, F, (1980) y López-Vera, F et al 1980 y1995), si bien en ocasiones la interpretación de resultados resulta ambigua y requiere análisis especiales lo que dispara su costo.

Por otra parte Foster, S et al (1988) plantea el problema de la alta concentración de los perímetros de protección, en áreas intensamente urbanizadas. Además de los conflictos que suele producir las restricciones de uso del suelo en las propiedades privadas.

Cartografía de vulnerabilidad de los acuíferos

La vulnerabilidad de acuíferos es un concepto introducido a finales de los años 60, (Albinet, M et al 1970) que presenta la ventaja de ser de fácil comprensión, pues implica el establecer una actividad antrópica en función de la capacidad del medio para soportarla (López-Vera, F 2000). Sin embargo algunos autores vinculan el concepto de vulnerabilidad a la intensidad de uso como fuente de agua potable del acuífero y la disponibilidad de fuentes alternativa. Otros, establecen la vulnerabilidad de un acuífero en función de sus características

hidrogeológicas y geoquímicas (López-Vera, F 1990, López-Vera, F. et al 1995) . Aunque la tendencia es integrar ambos conceptos.

La cartografía de la vulnerabilidad de acuíferos debe analizar las características de la zona no saturada que reduzcan el tiempo de llegada de contaminantes y reduzca la concentración de los contaminantes. Estos métodos cartográficos resultan muy eficaces cuando es necesario cubrir una gran área, resulta necesario analizar un gran número de actividades potencialmente contaminantes y se dispone de información reducida. Así como en áreas donde la complejidad geológica es grande.

Como problemas principales, la cartografía de vulnerabilidad de acuíferos no presenta la exactitud necesaria para establecer una protección efectiva de las captaciones. Por otra parte, la proliferación de métodos ya nos informa de las incertidumbres que arrojan. Hirata et al (1999) analizaron diecinueve métodos en uso para la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación de acuíferos. Muchos de estos métodos incluyen varios parámetros reunidos, con frecuencia, bajo la forma de multiplicación o de adición, lo que les hace perder su significado físico, al tiempo que incrementan la incertidumbre en la información con lo que la posibilidad de error es elevada. En otras ocasiones, se requiere una información detallada de pocos puntos, obviando la variable espacial. Por otra parte la multiplicidad de métodos no permiten comparar unas regiones con otras.

La cartografía de vulnerabilidad se ha mostrado una herramienta potente en la ordenación del territorio pero por si sola se muestra insuficiente para proteger de forma efectiva las aguas subterráneas. Aunque una variante es la cartografía detallada con ensayos *in situ* de emplazamientos localizados de vertederos o actividades potencialmente contaminantes.

Nueva estrategia integral de protección de las aguas subterráneas

Tanto la técnica de los Perímetros de Protección, como la de Vulnerabilidad de acuíferos presentan serias limitaciones para la protección efectiva de las aguas subterráneas. Una posible estrategia debe integrar ambas técnicas que se muestran complementarias e incluir actuaciones de "comienzo de tubería", esto es el control directo de los vertidos contaminantes al terreno, integrados en un nivel más elevado de actuación, programas que articulen actividades discretas con una localización específica y con un presupuesto económico. Estos programas deben partir del reconocimiento de los acuíferos, el inventario de

pozos y terminar con un monitoreo cualitativo y cuantitativo que permita comprobar la efectividad de la estrategia adoptada y realimentar el proceso de toma de decisión.

Estrategia de gestión de la calidad de las aguas subterráneas en la Unión Europea

La decisión estratégica de gestionar las aguas subterráneas ha adquirido en la Unión Europea una complejidad extraordinaria teniendo en cuenta que se ha tomado al máximo nivel y que se trata de un conglomerado de estados con tradiciones y leyes propias. El problema estaba presente en los foros cívicos, técnicos y mediáticos desde hace cuatro décadas hasta cristalizar en la directiva 2000/60/CE. La protección de las aguas subterráneas constituye un objetivo básico de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Era de esperar, teniendo en cuenta que en el proceso de su gestación tienen un papel muy destacado las conclusiones del Seminario Ministerial sobre aguas subterráneas celebrado en La Haya en 1991, desarrolladas después por sendas Resoluciones del Consejo de 1992 y de 1995 exigiendo un programa de actuación sobre aguas subterráneas con medidas para evitar su deterioro a largo plazo, tanto en los aspectos cuantitativos como cualitativos.

Por ello, aunque la Directiva declare como finalidad primordial mantener y mejorar el medio acuático de la Comunidad, y este objetivo se refiera fundamentalmente a aguas de superficie, tiene en cuenta también que el estado de una masa de agua subterránea repercute en los ecosistemas acuáticos y terrestres a ella asociados y, desde esa perspectiva, se exige un buen estado cualitativo y cuantitativo de las aguas subterráneas.

Por otra parte es objetivo de la Directiva lograr la sostenibilidad de los usos de agua en la Comunidad, por lo que también desde este enfoque contempla una protección cuantitativa y cualitativa de las masas de agua subterránea utilizadas - o potencialmente utilizables- para el suministro de agua destinada al consumo humano

Dentro de esta decisión estrategia, la Directiva desarrolla unos programas y una normativa y previo a ello establece unas definiciones de los conceptos que maneja que incluimos como anexo

Programas de actuación en aguas subterráneas

La Directiva impone a los países miembros establecer como mínimo los siguientes programas, con un plazo de tiempo establecido:

1.-Análisis de las características de cada demarcación hidrográfica a realizar dentro del plazo de 4 años, que en relación con las aguas subterráneas debe incluir:

a) Una caracterización inicial de todas las masas de agua subterránea, para la que se podrán agrupar distintas masas de agua y utilizar los datos existentes. Incluye ubicación y límites de cada masa de agua, presiones (fuentes de contaminación difusa y puntual, extracciones, recarga artificial), características de estratos suprayacentes en la zona de alimentación de la masa, identificación de masas de las que dependan directamente ecosistemas de aguas superficiales o terrestres.

b) Una caracterización adicional de las masas o grupos de masas de agua subterránea que presenten un riesgo, para determinar la importancia del mismo y las medidas que deban adoptarse. Incluye información sobre la incidencia de la actividad humana y características geológicas e hidrogeológicas del acuífero (permeabilidad, porosidad, confinamiento), de los depósitos superficiales en la zona de alimentación (espesor, porosidad, permeabilidad, propiedades absorbentes), estratificación del agua dentro del acuífero, inventario de masas de agua superficial y ecosistemas terrestres con los que está conectada la masa de agua subterránea (con direcciones y tasas de intercambio de flujos), tasa media anual de recarga a largo plazo, composición química de las aguas subterráneas (especificando aportaciones de la actividad humana).

2.- Estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas subterráneas a realizar dentro del plazo de 4 años, que para las masas que se considere pueden no ajustarse a los objetivos medioambientales del artículo 4 de la directiva, debe recoger:

a) Puntos de extracción de más de 10 m³/día o que se destinen a consumo humano de más de 50 personas (con su ubicación, tasa media de extracción, composición química del agua extraída). Puntos donde se realiza una recarga artificial directa (con ubicación, tasa de recarga, composición química del agua introducida). Usos del suelo en la zona de alimentación de la masa de agua (con expresión de entradas contaminantes y alteraciones antropogénicas de la recarga natural).

b) Incidencia del nivel de las aguas subterráneas en aguas superficiales y ecosistemas asociados, en la regulación hidrológica, protección contra inundaciones, drenaje de tierras o en el desarrollo humano;

todo ello en aquellas masas de agua subterránea para las que se deberán especificar objetivos inferiores a los del artículo 4 por razón de las repercusiones del cambio en dicho nivel.

c) Incidencia de la contaminación en la calidad de las aguas subterráneas, para aquellas masas de agua en que deben especificarse objetivos menos rigurosos que los generales del artículo 4 porque estén tan contaminadas, como consecuencia de la actividad humana, que sea inviable o tenga un coste desproporcionado lograr el buen estado químico.

3.- Registro de las zonas declaradas de protección esencial por razón de protección de sus aguas subterráneas o conservación de los hábitats que dependen de ellas, a establecer en cada demarcación hidrográfica en el plazo de 4 años. Entre la tipología de dichas zonas figuran las delimitadas para la captación o protección de agua destinada al consumo humano, o las declaradas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE. Un resumen del registro se incluirá en el plan hidrológico de la cuenca, junto con mapas de ubicación de cada zona protegida y la legislación, comunitaria, nacional o local, con arreglo a la que se declararon.

4.- Especificación de masas de agua subterránea en que se capte agua para consumo humano (artículo 7). Aunque no se expresa, es de suponer un plazo de 4 años. Los Estados miembros tienen la obligación de especificar, dentro de cada demarcación hidrográfica, las masas de agua superficial o subterránea que proporcionen más de 10 m³/día de promedio o abastezcan a más de 50 personas, así como todas las masas de agua que se destinarán a tal uso en el futuro.

Con objeto de proteger dichas masas, evitando el deterioro de su calidad, los Estados miembros podrán establecer perímetros de protección.

5.- Programas de seguimiento del estado de las aguas, que en el caso de las subterráneas deben vigilar el estado cuantitativo y el químico (artículo 8 y anexo V.2) en el plazo de 6 años a partir de la entrada en vigor de la Directiva. En el anexo V.2 de la Directiva, se detallan las condiciones de las redes de seguimiento del estado cuantitativo y el estado químico. Los Estados miembros facilitarán en el plan hidrológico de cuenca un mapa que muestre la red de seguimiento de las aguas subterráneas así como los resultados del seguimiento, indicando respecto de cada masa o grupo de masas sus estados cuantitativo y químico, codificados por colores.

6.- Programas de medidas (artículo 11) a establecer en cada demarcación hidrográfica

para alcanzar los objetivos medioambientales del artículo 4, en el plazo de 9 años tras la entrada en vigor de la Directiva; todas las medidas serán operativas a más tardar 12 años después de dicha fecha. Los programas de medidas se revisarán y actualizarán en un plazo máximo de 15 años a partir de la entrada en vigor de la Directiva, y posteriormente cada 6 años. Entre las medidas deben figurar algunas específicamente referidas a aguas subterráneas, como la imposición de una autorización previa para efectuar recargas artificiales, o la prohibición genérica de vertidos directos en las aguas subterráneas de contaminantes (con excepciones en relación con la reinyección en el mismo acuífero de agua de instalaciones geotérmicas, o de explotación de hidrocarburos, minas, canteras obras civiles, etc., siempre que no pongan en peligro los objetivos establecidos para la masa de agua subterránea).

7.- Planes hidrológicos de cuenca (artículo 13 y anexo VII de la Directiva), a publicar en un plazo de 9 años tras la aprobación de la Directiva y a revisar antes de los 15 años después de dicha fecha. Deben contener una serie de elementos relativos a las aguas subterráneas: mapas de localización y límites de las masas de agua subterránea, resumen de presiones e incidencias significativas de las actividades humanas (fuentes de contaminación puntuales y difusas, extracciones), mapa de zonas protegidas, mapas de redes de control químico y cuantitativo y de resultados de los programas de control, lista de objetivos ambientales establecidos para las aguas subterráneas con especificación de prórrogas y excepciones e información requerida en dichos casos, autorizaciones de vertidos directos en las aguas subterráneas.

Estos programas se pueden desglosar en cuantos proyectos concretos se considere oportunos, al tiempo que las normas y criterios que se adjuntan en los anexos II y V de la Directiva, deben ser traspuestos a la legislación interna de cada estado.

Conclusiones

A pesar de las recomendaciones de los organismos internacionales y de los compromisos adquiridos por los gobiernos, no se suele incluir en las agendas políticas medidas de protección de las aguas subterráneas si no existen grupos de presión o una influencia mediática que la impongan. Lo más frecuente es que estas medidas se adopten en situaciones de emergencia y cuando ya es demasiado tarde, dadas las características de los acuíferos. Por ello se recomienda ejercer la mayor presión para que no solo los gobiernos nacionales, sino los diferentes niveles de la administración con responsabilidad en las aguas subterráneas,

implementen actuaciones de protección de los acuíferos al máximo nivel posible, pues así será más estratégicos.

Las técnicas convencionales basadas en el establecimiento de Perímetros de protección y cartografía de Vulnerabilidad de acuíferos, son efectivas parcialmente, siendo necesario integrarlas en programas más amplios que incluyan un reconocimiento de los acuíferos mediante el inventario de pozos y sistemas de

monitoreo cualitativo y cuantitativo que permita comprobar la efectividad de la estrategia adoptada y suministrar más datos sobre el acuífero que permita realimentar las decisiones sobre las medidas a adoptar.

Los siete programas de protección de las aguas subterráneas adoptados por la Unión Europea, constituyen un buen referente, complementándose estos con las medidas adoptadas de control de vertidos.

REFERENCIAS

- ADAMS, B & FOSTER,S (1992) Land-surface zoning for groundwater protección. Jour. Intitution of Water and Environmental Management. N.6, 312-320 pp.
- ALBINET, M & MARGAT,J (1970) Cartographie de la vulnerilité a la pollution des napes d'eau souterraine. Bull. BRGM. 2me. Serie:3(4); 13-22 pp
- CANTER, L; KNOX, R; FAIRCHILD, D (1987) Grondwater quality protection. Lewis Publishers,Inc. 562 pp
- FOSTER, S & HIRATA, R. (1988) Groundwater pollution risk evaluation:the methodology using available data. CEPIS. Tech.Report. (WHO-PAHO-CEPIS) Lima.
- FOSTER,S; ADAMS,B; MORALES,M; TENJO,S (1992) Groundwater protection policy: a guide to requeriments.CEPIS Tech.Repot (WHO-PAHO-CEPIS),Lima.
- HENDERSON,T,R.: TRAUBERMAN,J. Y GALLAGER,T.H (1984) Groundwater Strategies for States Action. The environmental Law Institute, Washington D.C.
- HIRATA,R y REBOUÇAS (1999) La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. Boletín Geológico y Minero. Vol 110-4 . 423-436 pp.
- LOPEZ-VERA, F., LERMAN, J.C. y MULLER, A. (1980) A preliminary isotopic reconnaissance of the Madrid Basin Aquifer. Journal of Hydrology, nº 54. Edited by Herman Franck. Ed. Elsevier. Amsterdam.
- LOPEZ-VERA, F. (1980) Datación mediante Cloro-36 de aguas subterráneas en el acuífero terciario detrítico de Madrid. (Nota preliminar). Boletín Geológico y Minero. T. 91-IV. pág. 549-557.
- LOPEZ-VERA,F. (1990) Contaminación de las aguas subterráneas. Col. Temas Ambientales. M.O.P.T. 79 pag. ISBN 84-600-4448-3.
- LOPEZ-VERA, F.; SILAR, J., FABIAN, E., REDONDO, R. y GOMEZ, C. (1995). Identification of zones of higher vulnerability of aquifers by means of stable environmental isotopes. Groundwater Quality: Remediation and Protection. Edit. K.Kovar and J. Krasni. A.I.H. Praga. pp.21-27ISBN 0-947571-29-9.
- LOPEZ-VERA, F y MAHMOUD, M (1995) Ensayos de flujo en lisímetros con trazadores químicos y radiactivos. Investigación en Zona No Saturada. Univ. País Vasco. Vitoria. pp.223-235. (CL)
- LOPEZ-VERA, F.(2000) Problemática de la contaminación de las aguas subterráneas en España. El Agua en Iberoamérica: Acuíferos, Lagos y Embalses.CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Aprovechamiento y gestión de Recursos Hídricos. Edit. Fernández Cirelli, A. Pp 109-116. Buenos Aires.
- LOPEZ-VERA, F (2002a) Tres cuestiones sobre sostenibilidad del aprovechamiento de los recursos hídricos.. Rev. Encuentros multidisciplinares, nº 10 vol. IV. Enero – Marzo. UAM. 36-43pp
- LOPEZ-VERA,F (2002b) Estrategias para definir políticas de gestión de calidad de los acuíferos: La directiva Europea 2000/60/CE. Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. Organizado por la Red XVIIIA. Vulnerabilidad de Acuíferos. CYTED. Centro de investigaciones Hidráulicas. ISPJAE. La Habana. (Cuba). Publicado en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/FernandoLV.html> 10 pp
- OÑATE,J;J; PEREIRA,D;SUÁREZ,F;RODRIGUEZ,JJ y CACHÓN,J (2002) Evaluación ambiental estratégica. Edidciones Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp.
- UNION EUROPEA Directiva 2000/60/CE Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. PE-CONS 3639/00.
http://europa.eu.int/eur-lex/es/lif/dat/2000/es_300L0060.html (texto en español)

LÓPEZ-VERA, F. Estrategias para proteger las aguas...

http://europa.eu.int/eur-lex/pt/lif/dat/2000/pt_300L0060.html (texto en portugués)

Anexo

Definiciones sobre aguas subterráneas utilizadas en la Directiva 2000/60/CE

- Aguas subterráneas: todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.
- Aguas continentales: todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.
- Acuífero: una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas.
- Masa de agua subterránea: un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.
- Demarcación hidrográfica: la zona marina y terrestre compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas, designada como principal unidad a efectos de la gestión de las cuencas hidrográficas.
- Estado de las aguas subterráneas: la expresión general del estado de una masa de agua subterránea, determinado por el peor valor de su estado cuantitativo y de su estado químico.
- Buen estado de las aguas subterráneas: estado alcanzado por una masa de agua subterránea cuando tanto su estado cuantitativo como su estado químico son, al menos, buenos
- Buen estado Químico de las aguas subterráneas: estado químico alcanzado por una masa de agua subterránea que cumple todas las condiciones establecidas en el cuadro 2.3.2 del anexo V de la directiva (referentes a la concentración de contaminantes, a su incidencia en la calidad ecológica o química de las masas de agua superficial asociadas, y a posibles intrusiones - salinas o de otro tipo- en la masa de agua subterránea).
- Estado cuantitativo de una masa de aguas subterránea: la expresión del grado en que afectan a una masa de agua subterránea las extracciones directas e indirectas.
- Buen estado cuantitativo: el estado definido en el cuadro 2.1.2 del anexo V de la directiva, (referido al nivel piezométrico de la masa de agua subterránea ya sus posibles alteraciones).
- Recursos disponibles de aguas subterráneas: valor medio inter-anual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea menos el flujo inter-anual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica en el agua superficial asociada, evitar disminuciones en el estado ecológico de tales aguas y daños a los ecosistemas terrestres asociados.