

# **Equipo de acción de la CEPE (NACIONES UNIDAS) sobre seguimiento y evaluación**

Convenio para la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos internacionales (Helsinki, 1992)

Programa de trabajo 1996-1999

## **Directrices sobre seguimiento y evaluación de aguas subterráneas transfronterizas**

SBN 9036953154 (edición original en inglés)

Lelystad (Países Bajos), marzo de 2000

**Maquetación:**

Thieme Deventer

**Diseño de la portada:**

Panthera BNO  
G.E. Arnold (RIZA)

**Fotos de la portada:**

KNMI  
NITG-TNO  
Leon Lamers (KUN)  
Srćcko Božićević

**Editado por:**

Thieme Deventer

**Redacción:**

Participantes: Secretaría de la CEPE (UN/ECE), miembros del Grupo Básico para Aguas Subterráneas (Core Group on Groundwater) e Ilonka Záborszky

Sólo se permite la reproducción cuando resulte evidente que se trata de una cita textual

Pueden solicitarse copias adicionales de estas Directrices a RIZA, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (Instituto de Gestión de Aguas Interiores y de Tratamiento de Aguas Residuales), Secretaría del Proyecto del Equipo de acción de la CEPE (UN/ECE) sobre seguimiento y evaluación, Postbus 17, 8200 AA Lelystad, Países Bajos. Fax: +31 (0)320 247642

- Volumen 1: Inventario de aguas subterráneas transfronterizas (ISBN 9036952743)
- Volumen 2: Enfoque orientado a los problemas y uso de indicadores (ISBN 9036952751)
- Volumen 3: Aplicación de modelos (ISBN 903695276X)
- Volumen 4: Situación del seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas (ISBN 9036952778)

**NOTA:**

Las denominaciones empleadas y el contenido de esta publicación no implican la expresión de ningún tipo de opinión por parte de la Secretaría de las Naciones Unidas sobre la posición legal de cualquier país, territorio, ciudad o área, relativa a la delimitación de sus fronteras o límites.

# Prefacio

---

Estas Directrices sobre seguimiento y evaluación de aguas subterráneas transfronterizas fueron redactadas por el antiguo Equipo de acción de la CEPE (Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas, UN/ECE en sus siglas inglesas) sobre Seguimiento y Evaluación, bajo la dirección de los Países Bajos (denominado ahora Grupo de Trabajo sobre Seguimiento y Evaluación) y se aprobaron en su séptima reunión, celebrada en Bled (Eslovenia) como parte del plan de trabajo para el periodo 1996-1999, en el marco del Convenio para la Protección y Utilización de los Cursos de Aguas Transfronterizas y de los Lagos Internacionales (Helsinki, 1992). Las Directrices fueron ratificadas por las Partes del Convenio en su segunda reunión (La Haya, Países Bajos, 23-25 de marzo de 2000).

Para aplicar el programa del Equipo de acción sobre seguimiento y evaluación de aguas subterráneas transfronterizas se creó un Grupo Básico ("Core Group") bajo la dirección de G.E. Arnold (RIZA, Instituto de Gestión de Aguas Interiores y de Tratamiento de Aguas Residuales, Países Bajos).

Las Directrices fueron redactadas por J.J. Ottens (RIZA, Instituto de Gestión de Aguas Interiores y de Tratamiento de Aguas Residuales, Países Bajos), G.E. Arnold (RIZA, Instituto de Gestión de Aguas Interiores y de Tratamiento de Aguas Residuales, Países Bajos), Zs. Buzás (Ministerio de Transporte, Comunicaciones y Gestión del Agua, Hungría), J. Chilton (British Geological Survey (Servicio Geológico del Reino Unido) /Reino Unido-Collaborating Centre of the World Health Organisation (Centro Colaborador de la Organización Mundial de la Salud), R. Enderlein (Secretaría de la CEPE), E. Havas-Szilágyi (Ministerio de Transporte, Comunicaciones y Gestión del Agua, Hungría), P. Rončák (Instituto Hidrometeorológico de Eslovaquia, Eslovaquia), O. Tarasova (Ministerio de Protección Medioambiental y Seguridad Nuclear, Ucrania), J.G. Timmerman (RIZA, Instituto de Gestión de Aguas Interiores y de Tratamiento de Aguas Residuales, Países Bajos), B. Toussaint (Agencia Hessiana para el Medio Ambiente, Alemania) y M. Varela (Ministerio de Medio Ambiente, España).

Estas Directrices se inspiran en estudios de las prácticas actuales de seguimiento y evaluación y en los resultados de proyectos realizados por varios miembros del Grupo Básico, que han sido recopilados en cuatro informes de antecedentes:

- Inventario de aguas subterráneas transfronterizas. (jefe del proyecto: Zs. Buzás);
- Enfoque orientado a los problemas y el uso de indicadores (jefe del proyecto: J.J. Ottens);
- Aplicación de modelos (jefe del proyecto: P. Rončák);
- Situación del seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas (jefe del proyecto: G.E. Arnold).

Las Directrices serán aplicadas de manera experimental en un conjunto de proyectos piloto.



# Contenido

---

## Prefacio

<b>1. Introducción</b>	7
1.1 Antecedentes	7
1.2 Acerca de estas Directrices	7
1.3 Aspectos específicos del seguimiento de las aguas subterráneas	9
1.4 Enfoque integrado	11
1.5 Fuentes de información	12
1.6 Revisión de las Directrices	13
<b>2. Identificación de aspectos de interés en la gestión de las aguas subterráneas</b>	15
2.1 Funciones, presiones y metas	15
2.2 Establecimiento de prioridades	16
<b>3. Necesidades de información</b>	17
3.1 Especificación de las necesidades de información y seguimiento	17
3.2 Uso de indicadores	19
3.3 Evolución de las necesidades de información y seguimiento	20
3.4 Objetivos y tipos de seguimiento	20
<b>4. Estrategias de seguimiento y evaluación</b>	23
4.1 Aspectos estratégicos claves	23
4.2 Elementos de las estrategias de seguimiento y evaluación	24
<b>5. Programas de seguimiento</b>	27
5.1 Aspectos generales	27
5.2 Exigencias específicas de diseño para distintos tipos de seguimiento	34
<b>6. Gestión de los datos</b>	37
6.1 Procedimientos de gestión de los datos	37
6.2 Diccionario de datos	37
6.3 Validación de los datos	37
6.4 Almacenamiento de los datos y meta-información	38
6.5 Análisis e interpretación de los datos	38
6.6 Intercambio de datos	38
6.7 Redacción de informes	38
<b>7. Gestión de la calidad</b>	41
7.1 Fines de la gestión de la calidad	41
7.2 Política de la calidad	41
7.3 Sistema de la calidad	41
7.4 Protocolos	41
7.5 Requisitos del producto	42
7.6 Normalización y armonización	42
<b>8. Acción conjunta o coordinada y acuerdos institucionales</b>	43
8.1 Planes de acción y programas concertados	43
8.2 Órganos comunes y sus actividades	44
8.3 Otros acuerdos de ámbito nacional o local	45
<b>Referencias bibliográficas</b>	47
<b>Glosario de términos</b>	51
<b>Anexo</b>	53
Indicadores de uso internacional	



# 1. Introducción

---

## 1.1 Antecedentes

El Convenio de la CEPE (UN/ECE) para la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales (Helsinki, 1992) incluye importantes disposiciones sobre el seguimiento y la evaluación de las aguas transfronterizas, la evaluación de la efectividad de las medidas adoptadas para la prevención, el control y la reducción del impacto transfronterizo y el intercambio de información sobre el seguimiento del agua y de los efluentes. Otros aspectos relevantes tratan de la armonización de las normas para establecer y poner en práctica programas de seguimiento, que incluyen sistemas de medición, dispositivos, técnicas analíticas, procedimientos de evaluación y tratamiento de datos. Surgen también nuevas necesidades de seguimiento, porque el Convenio intenta proteger ecosistemas que pueden estar directamente relacionados con las aguas subterráneas, y fuentes de suministro de agua potable.

El seguimiento y la evaluación también forman parte del Protocolo sobre Agua y Salud del Convenio. Este Protocolo contiene disposiciones sobre el establecimiento de sistemas conjuntos o coordinados de seguimiento exhaustivo y de alerta rápida para detectar brotes o casos de enfermedades vinculadas con el agua, así como situaciones que representen una amenaza importante en ese sentido (incluidas las provocadas por incidentes de contaminación de aguas o por condiciones meteorológicas extremas). También prevé el desarrollo de sistemas integrados de información y de bases de datos, y el intercambio de información y de experiencias y conocimientos técnicos y jurídicos.

## 1.2 Acerca de estas Directrices

Estas Directrices se refieren a las aguas subterráneas transfronterizas. Forman parte de una serie de Directrices sobre el seguimiento y la evaluación de ríos, aguas subterráneas, lagos y estuarios.

El carácter de estas Directrices es más estratégico que técnico<sup>1</sup>. Tienen por objeto asistir a los gobiernos de la CEPE y a los órganos conjuntos ("joint bodies") en el desarrollo de normas armonizadas para establecer y poner en práctica sistemas de seguimiento y evaluación de aguas subterráneas transfronterizas. Están dirigidas fundamentalmente a quienes toman las decisiones y se encargan de la planificación en ministerios, organizaciones e instituciones responsables de las cuestiones medioambientales, hidrológicas o hidrogeológicas y a quienes tienen la competencia de la gestión de las aguas subterráneas transfronterizas. Las Directrices pretenden también asesorar a los responsables del desarrollo de políticas sostenibles de la gestión del agua o que están implicados en ellas.

Se pretende que estas Directrices sean concisas y realistas; no es nuestra intención que tengan un carácter vinculante. Ofrecen un enfoque para la identificación de problemas y una guía para cubrir las necesidades informativas. Las Directrices tratan principalmente las necesidades de seguimiento y evaluación derivadas del Convenio. En la medida de lo posible, también se toman en consideración las necesidades de seguimiento y evaluación derivadas del Protocolo sobre el Agua y la Salud. No obstante, este último sólo podrá considerarse plenamente cuando se haya logrado una mayor experiencia sobre las cuestiones relacionadas con el agua y la salud humana.

<sup>1</sup> **Nota:**

Para los detalles técnicos, deben consultarse los informes de antecedentes del Grupo Básico para Aguas Subterráneas y las publicaciones y manuales internacionales sobre prácticas de seguimiento y evaluación (véanse "Referencias bibliográficas").

.....

**Definiciones utilizadas en estas Directrices:**

• *seguimiento* (“*monitoring*”)

Es el proceso de observación repetitiva, para fines definidos, de uno o más elementos del entorno, conforme a esquemas acordados previamente de espacio y tiempo y utilizando metodologías comparables para la percepción ambiental y la recopilación de datos. Proporciona información sobre el estado presente y las tendencias pasadas del comportamiento ambiental.

• *evaluación* (“*assessment*”)

La evaluación de la situación hidrológica, química o microbiológica de las aguas subterráneas en relación con las condiciones de fondo, los efectos humanos y los usos actuales o previstos que puedan afectar negativamente a la salud humana o al medio ambiente.

• *estudio de control* (“*survey*”)

Un programa intensivo de duración limitada para medir, evaluar e informar de la situación del sistema de aguas subterráneas, para un fin determinado.

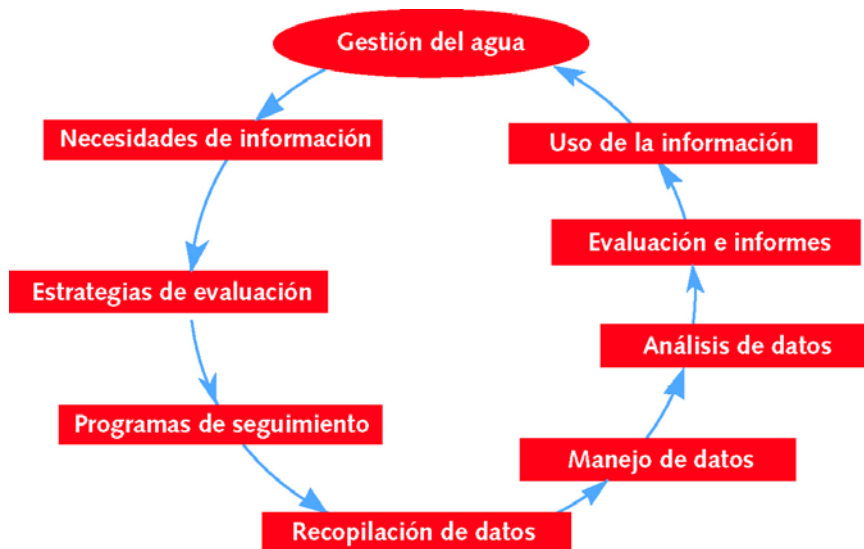
En estas Directrices se seguirá también el enfoque general del ciclo de seguimiento (figura 1.1), tal y como se presenta en las Directrices sobre seguimiento y evaluación de ríos transfronterizos<sup>2</sup>.

El ciclo de seguimiento ofrece al lector una guía para estas Directrices y un valioso enfoque cuando se redacten programas de seguimiento y evaluación de aguas subterráneas transfronterizas.

Un intercambio de información -y una evaluación / modelación conjunta- entre las partes ribereñas sólo tiene sentido si los datos son comparables. Esto puede lograrse cuando todos los componentes de las actividades de seguimiento de aguas subterráneas en ambas partes de la frontera aplican principios similares o adoptan un enfoque como el del ciclo de seguimiento que se describe a continuación.

.....

**Figura 1.1**  
Ciclo de seguimiento



<sup>2</sup> Para la redacción de estas Directrices se ha hecho uso, en la medida de lo posible, de la experiencia adquirida en la aplicación de las Directrices sobre seguimiento y evaluación de ríos transfronterizos en proyectos piloto en su versión actualizada.



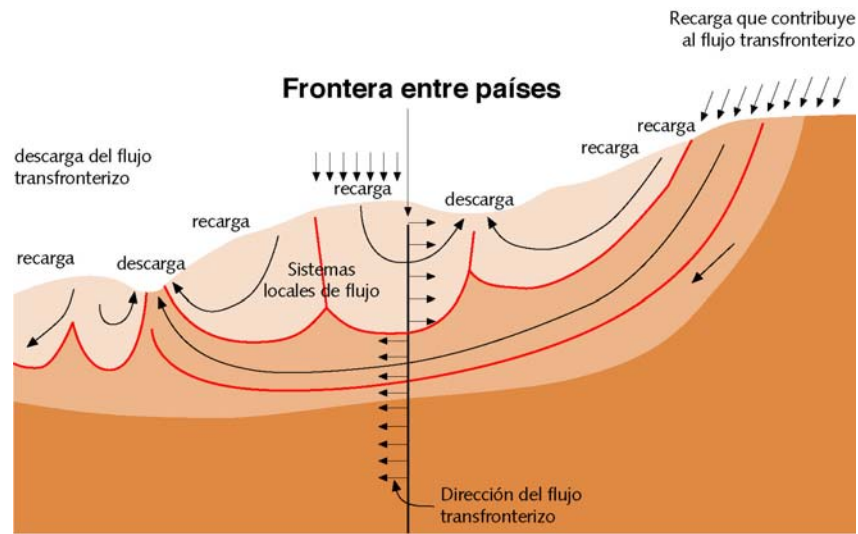
### 1.3 Aspectos específicos del seguimiento de las aguas subterráneas

Al ejecutar programas de seguimiento y evaluación transfronteriza, es esencial presentar la hidrogeología en modelos conceptuales o esquemas gráficos. Esto debería incluir una caracterización del acuífero transfronterizo, las condiciones del flujo -incluidas las áreas de recarga y descarga- y la evolución de la calidad del agua subterránea.

La caracterización y descripción de sistemas acuíferos transfronterizos relevantes son un requisito previo para el seguimiento y la evaluación de las aguas transfronterizas en general y de las aguas subterráneas transfronterizas en particular. Los aspectos que influyen en la forma en que las aguas subterráneas son observadas y evaluadas y que las distinguen de las aguas superficiales son los siguientes:

- el movimiento lento -tiempo de permanencia largo- de las aguas subterráneas aumenta la posibilidad de que su calidad se modifique debido a la interacción entre el agua y el material del acuífero que las contiene. Al mismo tiempo, una vez que las aguas subterráneas están contaminadas, pueden permanecer así muchos años y es difícil intervenir con eficacia en este proceso;
- la interacción entre el material del acuífero y el agua hace que evolucionen las características hidrogeoquímicas a medida que el agua subterránea infiltrada circula en el acuífero. Para poder detectar y cuantificar los distintos impactos de las actividades humanas, deben evaluarse los niveles de referencia de la calidad natural de las aguas subterráneas ("*baseline quality*") con sus variaciones espaciales y en profundidad;
- el flujo de las aguas subterráneas puede ser intergranular o producirse a través de fracturas. El flujo del agua subterránea será mucho más rápido, pero variable y difícil de calcular, si discurre a través de rocas intensamente fracturadas. El flujo intergranular del agua subterránea aumenta el potencial de la interacción entre el material del acuífero y el agua subterránea;
- las áreas de recarga y descarga deben ser identificadas y deben caracterizarse las actividades que pueden afectar a la cantidad o a la calidad del agua subterránea. Conocer el sistema del flujo del agua subterránea significa, en particular, determinar las zonas de recarga y descarga y la forma en que el agua subterránea fluye por los acuíferos de una zona a otra (figura 1.2). Las actividades en las áreas de recarga de una parte de la frontera entre los países ribereños pueden influir negativamente en la calidad o en la cantidad del agua subterránea del otro lado (véase la figura 1.3). Para determinar las condiciones de recarga y descarga en algunas áreas, hay que conocer la interacción entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas;

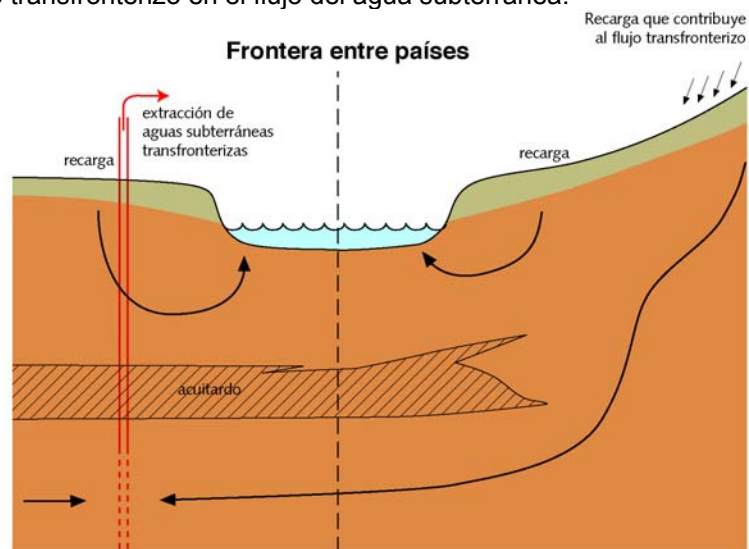
**Figura 1.2**  
Sistemas de flujo de aguas subterráneas transfronterizas



- las condiciones de fondo cambian con el tiempo y estas variaciones espaciales, temporales y de profundidad tienen que determinarse antes de poder detectar cualquier impacto de la actividad humana;
- los sistemas multicapa. Cuando hay más de un acuífero separado por acuitardos o por material menos permeable, deben determinarse las posibles líneas de flujo o conexiones entre ellos.

De esta forma, para caracterizar el agua subterránea se necesita información sobre la geología, la geofísica y la hidrogeología en el área transfronteriza. Asimismo, deben conocerse las condiciones del sistema de flujo del agua subterránea, tales como las respuestas y variaciones estacionales o a largo plazo y los cambios en el caudal o en la dirección del flujo ocasionados por actividades humanas. La calidad del agua subterránea es infinitamente variable en espacio y tiempo, pero a escalas espaciales y temporales distintas de las del agua superficial, y su variabilidad es todavía más compleja debido a las interacciones mencionadas anteriormente.

**Figura 1.3**  
Efecto de un acuitardo transfronterizo en el flujo del agua subterránea.



## 1.4 Enfoque integrado

Para gestionar y proteger eficazmente los recursos hídricos transfronterizos, debe existir una armonización de las redes de seguimiento de las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Las de seguimiento básico o de referencia y las de seguimiento del cumplimiento deben estar vinculadas de la forma más apropiada.

El agua subterránea debe ser evaluada de forma integrada, a partir de criterios referentes a la calidad y la cantidad del agua para diferentes usos humanos, así como a las necesidades de los ecosistemas. Debe poseerse un buen conocimiento de los factores relevantes y las relaciones causa-efecto entre los mismos. La especificación de las necesidades de información que deben conducir a formular los objetivos del seguimiento debe ser muy similar para la seguimiento del agua subterránea y del agua superficial. Cuando se hayan determinado las necesidades de información, pueden elegirse el tipo de seguimiento y las estrategias de evaluación -agua subterránea/superficial; calidad/cantidad del agua; seguimiento/estudios de control, etc.-.

Al desarrollar programas de seguimiento, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos, que permiten una integración mayor:

- *integración de la recopilación de datos y almacenamiento*

El seguimiento de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales y de la calidad y la cantidad del agua suele ser realizado por diferentes autoridades; la información resultante debe evaluarse de forma integrada y modelarse conjuntamente.

- *interacción entre aguas subterráneas y aguas superficiales*

El seguimiento y la evaluación de aguas superficiales y aguas subterráneas pueden integrarse en un grado mayor, especialmente cuando la recarga se produce a través de infiltración de las aguas superficiales o en el caso de ecosistemas vulnerables.

- *cantidad - calidad*

En muchas ocasiones, existen relaciones e interacciones contrastadas entre la cantidad y la calidad de las aguas subterráneas. Las mediciones de cantidad de las aguas subterráneas, tales como niveles y descargas, se utilizan para caracterizar el sistema de flujo subterráneo, tanto en su estado natural como bajo la influencia de la actividad humana, especialmente de la explotación de las aguas subterráneas. Esta explotación puede producir también impactos en la calidad, por ejemplo por la intrusión de agua salina en un acuífero intensamente explotado y, en consecuencia, estos impactos -y todas las medidas que se adopten para mitigarlos- pueden ser evaluados más eficazmente analizando conjuntamente la cantidad y la calidad de las aguas subterráneas.

- *otros aspectos*

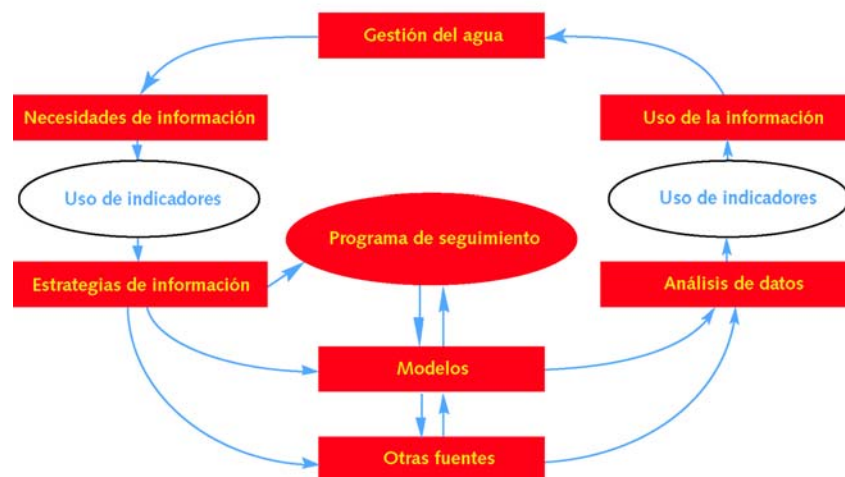
La gestión integrada del agua comprende aspectos de calidad y de cantidad. Se concentra en las funciones y usos del agua y se relaciona con la ecología y la planificación del medio físico. La evaluación vinculada a estos fines comprende un seguimiento integrado que proporcione información sobre una amplia variedad de temas / aspectos -usos, funciones, hidrogeología, regímenes del flujo, avance hacia la consecución de objetivos políticos-. El uso de indicadores facilitará este enfoque integrado.

El análisis, la planificación y la gestión integradas de los recursos hídricos en un ámbito transfronterizo comprenden muchas disciplinas, factores y actores. Para los acuíferos y las cuencas fluviales transfronterizos, con sus dinámicas y sus sistemas de flujo interrelacionados, este enfoque es y será cada vez más importante, ya que el agua es uno de los factores clave para el desarrollo sostenible en Europa. La gestión sostenible de los recursos hídricos debería conectar el desarrollo social y económico con la protección de ecosistemas naturales. Una gestión eficaz vincula los usos del suelo y del agua a lo largo de toda una cuenca fluvial o un acuífero subterráneo. Esto constituye uno de los puntos básicos del Convenio del Agua de Helsinki de la CEPE.

## 1.5 Fuentes de información

La información sobre aguas subterráneas transfronterizas puede obtenerse de fuentes primarias, tales como programas de seguimiento, cálculos y predicciones con modelos, y de otras fuentes -por ejemplo, bases de datos- que contengan información estadística o de carácter administrativo (figura 1.4).

**Figura 1.4**  
Flujo de información



Las redes de seguimiento no recopilarán toda la información; cuando existan necesidades específicas -en cuyo proceso pueden ser muy útiles los indicadores-, el método específico de recopilación deberá quedar claro y documentarse en la estrategia de información.

El uso combinado de estas fuentes de información ofrece unas condiciones óptimas para lograr una buena relación coste-eficacia. En un contexto transfronterizo, debe resaltarse que no es posible combinar o integrar estas fuentes, si no se ha efectuado la armonización de los datos o de las bases de datos, o si ésta no ha sido prevista antes de proceder a la evaluación o desarrollar actividades conjuntas de modelación.

La información básica está disponible en bases de datos europeas sobre medio ambiente (CORINE, EIONET), en atlas internacionales y en una colección de series de mapas sobre geología, balance hídrico, vegetación, suelos y uso del suelo, y en numerosos datos procedentes de teledetección (véase también "Referencias bibliográficas"). Las escalas están comprendidas entre 1:1.000.000 y 1: 20.000.000. Asimismo, pueden utilizarse otras series de mapas y atlas nacionales e internacionales. El subproyecto "Inventario de aguas subterráneas transfronterizas" también incluye mapas informativos para la región de la CEPE, al igual que la monografía de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) "Monograph on groundwater quality and quantity in Europe" (Monografía sobre calidad y cantidad de las aguas subterráneas en Europa).

No obstante, algunos de estos mapas y bases de datos proporcionan información a una escala demasiado poco precisa para un problema transfronterizo concreto. Pueden ofrecer valiosa información de fondo, como la geología, la hidrogeología y el uso del suelo, pero no pueden sustituir a las fuentes de información locales o regionales.

En general, pueden distinguirse cuatro tipos diferentes de fuentes de información: mapas -información por zona-, documentos y archivos -señalan fuentes, como testigos o registros de perforación-, informes -datos exhaustivos- y fuentes diversas -p. ej., comunicación personal, estudios de campo, e investigaciones realizadas por ONGs-.

En los últimos años, se han efectuado muchos inventarios y estudios relacionados con el seguimiento y la evaluación de los recursos hídricos subterráneos. A continuación, se enumeran las principales fuentes consultadas para obtener información sobre prácticas de seguimiento y evaluación:

- El programa sobre ríos del estudio de la CEPE sobre Aguas transfronterizas y Lagos internacionales es el precursor del presente programa sobre aguas subterráneas transfronterizas. En particular, el volumen 5: "State of the Art on Monitoring and Assessment of Rivers" (Niederländer et al., 1996, Situación del seguimiento y la evaluación de los ríos") ofrece una visión general de los principios del diseño de las redes de seguimiento. Este informe también contiene información sobre el análisis químico y el tratamiento de muestras conforme a las normas internacionales;
- EurAqua (European Network of Fresh Water Research Organisations, Red Europea de Organizaciones de Investigación del Agua Dulce), dedicó su segunda revisión técnica a "Optimizing Freshwater Data Monitoring Networks including Links with Modelling" (EurAqua, 1995, "Mejora de las redes de seguimiento de agua dulce, incluidos vínculos con la modelación"). Esta revisión técnica contiene informes de 14 países europeos sobre sus redes de seguimiento, tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas. El estudio describe las dimensiones de las redes nacionales existentes -incluida su estructura organizativa-, los objetivos subyacentes y las razones sobre la necesidad de un seguimiento de la investigación en el futuro;
- El informe "Groundwater Monitoring in Europe" (Koreimann et al., 1996, "Seguimiento de aguas subterráneas en Europa") es el resultado de un inventario realizado por el Centro Temático Europeo de Aguas Continentales (ETC/IW), de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). Se centra específicamente en el seguimiento de las aguas subterráneas, tanto la calidad como la cantidad. Es un inventario de redes existentes en los Estados miembros de la AEMA (países de la UE, Noruega e Islandia) con un alto nivel de detalle. Partiendo del inventario técnico sobre seguimiento de aguas subterráneas en Europa, el ETC/IW elaboró una propuesta para diseñar una red europea de seguimiento de las aguas subterráneas en los países de la AEMA, que se presenta en el informe "European Freshwater Monitoring Network Design" (Nixon, 1996, "Diseño de una red europea de seguimiento del agua dulce"). El procedimiento de diseño propuesto se basa en una visión general y una evaluación de las actuales prácticas de seguimiento;
- En 1994 y 1996 se celebraron respectivamente dos conferencias sobre el tema: "Monitoring Tailor Made I" y "Monitoring Tailor Made II" (Seguimiento a Medida I y II). Las conclusiones de ambas conferencias, recogidas en Adriaanse et al. (1994) y Ottens et al. (1997), respectivamente, contienen referencias sobre las nuevas tendencias en seguimiento y evaluación de aguas superficiales y subterráneas;
- La Directiva 2000/60/CE por la que se establece un "marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas", denominada en lo sucesivo la "Directiva Marco del Agua", establece en uno de sus anexos orientaciones para el diseño de una red de seguimiento de las aguas subterráneas -en la terminología de la Directiva, monitoring = seguimiento-, con referencias específicas a los acuíferos transfronterizos. Las actividades de control operativo, que deberán realizarse en los periodos entre los programas de control de vigilancia, se detallan en el texto de la Directiva.

## 1.6 Revisión de las Directrices

La Reunión de las Partes del Convenio deberá evaluar los progresos logrados en la aplicación de estas Directrices y, en caso necesario, hacer las gestiones necesarias para revisarlas.

Con este fin, las Directrices serán revisadas partiendo de las experiencias adquiridas durante su aplicación en proyectos piloto en diversos acuíferos transfronterizos de la región de la CEPE. Asimismo, los resultados preliminares de los proyectos piloto para la aplicación de las Directrices sobre Ríos ayudarán

considerablemente en el establecimiento y la aplicación de las Directrices sobre aguas subterráneas. En algunos casos, puede ser posible incorporar estas Directrices en los proyectos piloto sobre ríos, para lograr un seguimiento y una evaluación de las aguas transfronterizas realmente integrados, que puede basarse en los órganos comunes o conjuntos ya existentes.

## 2. Identificación de aspectos de interés en la gestión de las aguas subterráneas

---

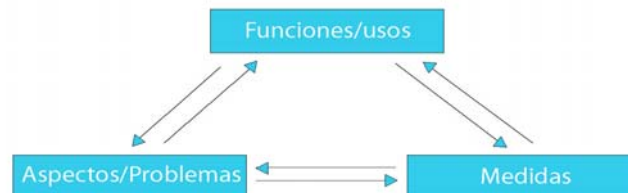
Deben identificarse las funciones, presiones y metas de los acuíferos transfronterizos y establecer las prioridades correspondientes.

### 2.1 Funciones, presiones y metas

La gestión de las aguas subterráneas forma parte de la gestión y la protección integradas de los recursos hídricos. Los elementos fundamentales en la gestión de las aguas subterráneas son las funciones y los usos de las masas de agua subterránea o de los acuíferos, los problemas y presiones (amenazas) y el impacto de las medidas preventivas o correctoras en el funcionamiento general de la masa de agua (figura 2.1). Un seguimiento acorde con las necesidades de información deberá contemplar estos elementos fundamentales y considerar también cómo se usa la información en el proceso de toma de decisiones. Las medidas pueden incluir investigaciones sobre los problemas y amenazas, análisis de riesgos, restauración de acuíferos, programas de seguimiento, y control de actividades contaminantes o de explotación excesiva.

**Figura 2.1**

Elementos fundamentales de la gestión del agua



Ejemplos de elementos fundamentales en la gestión de las **aguas subterráneas**:

- *funciones/usos*: conservación de humedales (función), agua de abastecimiento o de riego (uso);
- *problemas*: descenso del nivel piezométrico, contaminación con sustancias peligrosas;
- *medidas*: reducción de la extracción de agua subterránea o recarga artificial (infiltración), control o mitigación de la contaminación.

Cuando se establecen estrategias de seguimiento, debe identificarse y acordarse conjuntamente lo siguiente:

- a) las características del acuífero transfronterizo y las relaciones con las aguas superficiales y los ecosistemas asociados;
- b) los usos específicos de las aguas subterráneas transfronterizas;
- c) la función ecológica de los recursos hídricos subterráneos transfronterizos;

- d) las presiones que tienen un impacto en los usos del agua y en el funcionamiento de los ecosistemas que dependen del agua subterránea (tabla 2.1);
- e) unas metas de gestión cuantificadas o, en su caso, claramente definidas, que posibiliten el establecimiento de restricciones y que puedan aplicarse en un periodo de tiempo determinado.

Este enfoque integrado y conjunto permite comparar el progreso logrado por los países ribereños, teniendo en cuenta el contexto, muy a menudo específico, del país o la región.

**Tabla 2.1**

Funciones/usos y problemas de los acuíferos subterráneos

Problemas	Funciones/usos			
	Abastecimiento	Industria	Agricultura	Ecosistemas/naturaleza
Acidificación	*	*	*	*
Exceso de nutrientes	*			*
Contaminación con sustancias peligrosas	*	*	*	*
Salinización	*	*	*	*
Descenso de los niveles piezométricos	*	*	*	*

Algunas funciones pueden tener también un impacto negativo sobre otras funciones y los problemas no se limitan necesariamente a los sistemas de aguas subterráneas. Obviamente, la lista de la tabla 2.1 no es exhaustiva y puede confeccionarse de acuerdo con las necesidades o características específicas de cada acuífero transfronterizo.

La identificación de los usos del agua, del funcionamiento del ecosistema, de las presiones y problemas, y el establecimiento de metas, deberían incluir tanto los aspectos de calidad como los de cantidad. Los usos humanos de las aguas subterráneas pueden ser consuntivos o no consuntivos. Ejemplos de los primeros serían el abastecimiento de agua potable o la utilización en industria o regadío. Un uso no consuntivo puede consistir en el bombeo para control de la superficie piezométrica en una construcción o para fines agrícolas, o en el mantenimiento de una cuña de agua dulce en zonas costeras para que sirva de barrera contra la intrusión del agua salada.

Los problemas mencionados anteriormente suelen estar contemplados en las agendas políticas y son objeto de políticas específicas que incluyen investigación, estudios, seguimiento y medidas preventivas o correctoras.

## 2.2 Establecimiento de prioridades

Debe establecerse un orden de prioridad entre las cuestiones de interés y los objetivos de la gestión de las aguas subterráneas –tomando en consideración el Convenio y otros acuerdos relevantes-, a diferentes niveles o escalas; por ejemplo, para toda la región de la CEPE, en un ámbito transfronterizo regional y local, o referido al acuífero concreto. La prioridad que se otorgue a estas cuestiones determina en gran medida las necesidades de información que formarán la base para la seguimiento. En el siguiente capítulo se comentarán metodologías y formas de establecer prioridades entre las cuestiones de interés y las metas a conseguir.

Pueden establecerse metas para cada acuífero transfronterizo, que coincidan con los objetivos del Convenio. Al igual que en la gestión de las aguas superficiales, puede establecerse también una unidad de gestión para las aguas subterráneas, que se basará en modelos matemáticos conceptuales y en información relativa al ciclo hidrológico, a la topografía, edafología y geología, al uso del suelo o a los aspectos administrativos y legales. En esta caracterización deben incluirse también los patrones de suministro y demanda de agua en función de los usos. Las metas para cada unidad de gestión pueden



definirse en un plan estratégico de acción coordinado por un órgano común, creado por las Partes ribereñas, que también debe ser responsable del establecimiento de prioridades en cada caso.

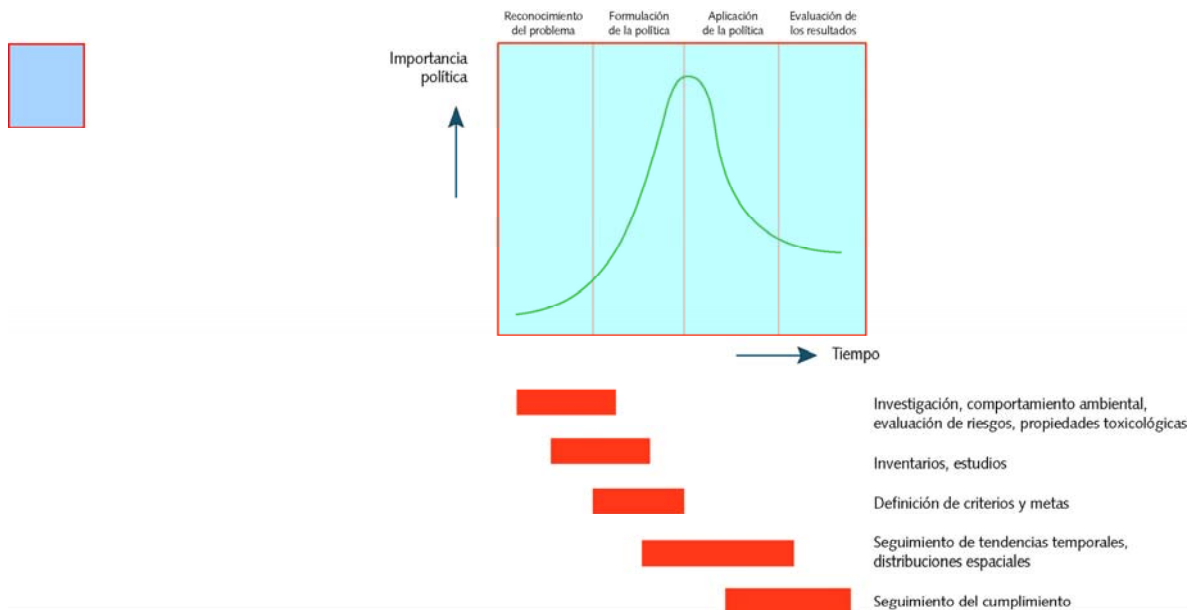
# 3. Necesidades de información

La correcta identificación de las necesidades de información exige que se definan por anticipado las cuestiones de interés y los procesos de toma de decisiones de los usuarios de la información.

## 3.1 Especificación de las necesidades de información y seguimiento

La información necesaria para efectuar el seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas transfronterizas debe estructurarse partiendo de los aspectos considerados relevantes y teniendo en cuenta el momento o fase en que estos aspectos se incorporan al ciclo de vida de la política de aguas (figura 3.1). En la primera fase, la cuestión es averiguar si se trata de un auténtico problema ambiental. La política se formulará a medida que crece el consenso sobre la importancia del aspecto en cuestión. En esta segunda fase, el interés del público se centra en la capacidad de quienes tomarán las decisiones, reflejada en el peso político asignado en cada caso. En una tercera fase, se aplica la política y se adoptan medidas para resolver el problema. La cuarta fase se centra en el problema ambiental, en vías de resolución. La primera y segunda fases requieren datos aproximados y tareas de investigación para identificar el problema y comprobar la coherencia causal.

**Figura 3.1**  
Ciclo de vida de la política (según Winsemius, 1986 y Cofino, 1995)



La tercera y cuarta fase requieren datos más precisos para seleccionar las medidas más eficaces y cuantificar su efecto. En todas las fases se requiere algún tipo de seguimiento. La primera y la segunda fase se centrarán preferentemente en estudios de control, mientras que en las fases posteriores se hará más hincapié en el seguimiento del cumplimiento y menos en la vigilancia y seguimiento de la reparación y restauración.

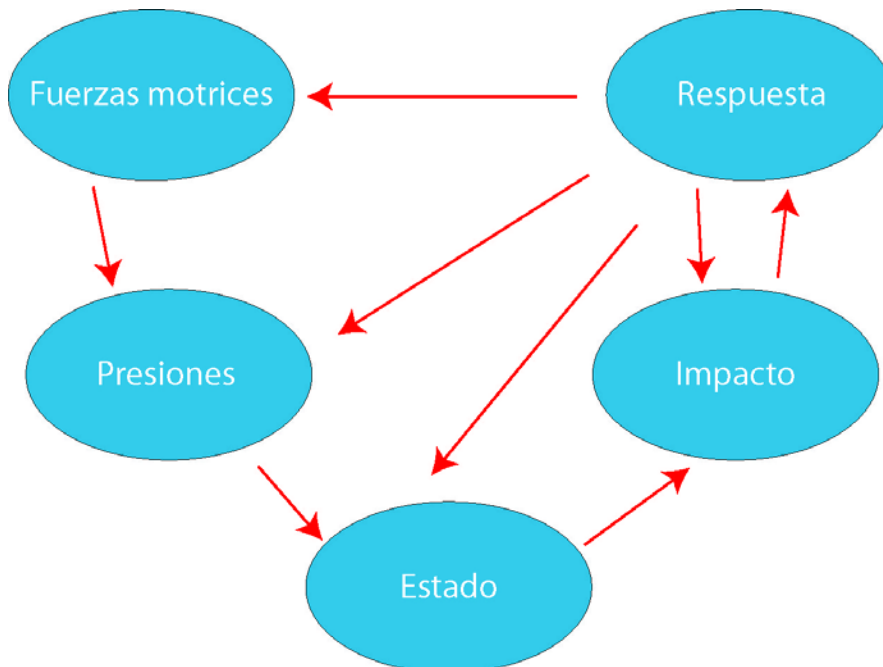
La correcta identificación de las necesidades de información exige que se definan por anticipado las cuestiones de interés y los procesos de toma de decisión de los usuarios de la información. Los objetivos del seguimiento se derivarán de la especificación estructurada de necesidades de información. Este enfoque también incluye el uso de una tabla de función/aspecto para aclarar el impacto de las presiones en las funciones.

La especificación de las necesidades de información incluye:

- el establecimiento de criterios de evaluación. Estos criterios deben conducir al desarrollo de una estrategia de evaluación. Los criterios de evaluación, definidos para cada uso, determinan la elección de la metodología de evaluación –p. ej., consideraciones para establecer normas, o criterios para la elección de las condiciones para implantar sistemas de alerta-;
- la cuantificación de las necesidades de información para evaluar la eficacia de la información obtenida, dejando claro el grado de detalle relevante para tomar decisiones. Esto afectará a las frecuencias de mediciones y muestreos, la precisión de las medidas, etc.;
- la especificación de las condiciones a cumplir para la presentación de los informes y del producto de la información –p. ej., visualización, grado de agregación, índices-.

Al tratar un aspecto específico de la gestión del agua, se necesita información sobre el origen y los efectos del problema y sobre las medidas adoptadas. Las cadenas causales, como el marco conceptual FPSIR (figura 3.2), distinguen entre los diferentes aspectos de una cuestión. Las necesidades de información pueden especificarse para uno o más de esos aspectos.

.....  
**Figura 3.2**  
El marco conceptual FPSIR



Las fuerzas motrices describen las actividades humanas, como la intensificación de las actividades agropecuarias y la producción de la industria química, que son importantes fuentes de problemas y amenazas. Las presiones describen la carga que los problemas suponen para las funciones y usos del acuífero. El estado del acuífero se describe en términos de concentraciones de sustancias o de características hidráulicas -nivel del agua subterránea-. El impacto describe la pérdida de función y uso, como potabilidad o uso para abastecimiento de agua potable. Las respuestas describen las políticas que han sido o están siendo desarrolladas para afrontar el problema.

Los enfoques resumidos anteriormente pueden ayudar en la especificación de necesidades de información. Son complementarios, ya que una parte de un enfoque, p.ej. los aspectos, es también parte de otro enfoque, como la tabla de función-aspecto y ciclo de vida de la política. Las presiones forman parte del FPSIR, del "aspecto" -tabla función-aspecto/problema- y de la primera fase del ciclo de vida de la política.

Los enfoques utilizados también proporcionan perspectivas diferentes, ya que mientras el FPSIR se centra principalmente en el sistema acuífero, el ciclo de vida de la política lo hace en el sistema socioeconómico y la tabla función-aspecto une los dos anteriores.

### **Etapas del proceso de especificación de necesidades de información:**

1. Identificar funciones o usos -como abastecimiento de agua potable- y aspectos/problemas -como acidificación y descenso de la superficie piezométrica- del acuífero subterráneo.
2. Establecer una tabla función-aspecto para ver si los aspectos están en conflicto con las funciones de los acuíferos. Deben formularse y acordarse los objetivos de gestión para proteger los recursos de agua subterránea. Cuando los presupuestos son limitados, puede utilizarse una tabla función-aspecto como herramienta para establecer las prioridades. La urgencia de un problema y los medios técnicos y financieros determinan las prioridades.
3. Recopilar al menos la siguiente información sobre factores dependientes del lugar y el tiempo:
  - funcionamiento hidrológico y geoquímico del sistema de agua subterránea;
  - escalas espaciales y temporales,
  - procesos químicos, físicos y biológicos,
  - usuarios de la información -redactores de las políticas o gestores a nivel operacional-;
  - fase de gestión -identificación del problema, desarrollo de la política, aplicación y control de la política-.
4. Usar el marco conceptual FPSIR para especificar más detenidamente las necesidades de información. El enfoque sistemático de este concepto es útil para encontrar las relaciones de causalidad entre los problemas ambientales -presión-, el impacto sobre los recursos de agua subterránea -impacto, estado- y las medidas que deben adoptarse -respuesta-.
5. Ajustarlo a la situación concreta en el nivel organizativo, utilizando el ciclo de vida de la política. La información necesaria para redactar las políticas difiere de la información que se requiere para las medidas de restauración.
6. Redactar una lista de comprobaciones con criterios que deben cumplirse, vinculados a los factores mencionados en el punto 3.

### **3.2 Uso de indicadores**

Los indicadores suelen hacer referencia a un conjunto de variables básicas, dirigiendo de esta forma la estrategia de seguimiento a un aspecto concreto. Los indicadores también pueden utilizarse para ilustrar los diferentes aspectos de la información deseada, tal y como muestra la tabla 3.1.

Además, los indicadores proporcionan medios para comunicar los resultados del seguimiento a los que toman las decisiones. Cuando la selección o el desarrollo de indicadores se basa en los enfoques antes mencionados, tendrá también como resultado una información más armonizada, que es especialmente importante al tratar de aguas subterráneas transfronterizas.

Entre los indicadores actualmente utilizados para el seguimiento y la evaluación del agua subterránea pueden mencionarse: el nivel del agua en el acuífero -nivel piezométrico-, la extracción de agua subterránea -uso del agua- y algunas especies vegetales -que desaparecen o aparecen-, en relación con el descenso de la superficie piezométrica. Para la calidad del agua subterránea se utilizan el índice de adsorción de sodio (SAR) para fines de riego, la concentración de nitratos resultante del uso excesivo de fertilizantes -aspecto/problema- y el pH o la conductividad en relación con, por ejemplo, la salinización.

.....  
**Tabla 3.1**

Problemas para los que pueden desarrollarse indicadores usando el concepto FPSIR.

Ecosistema

Uso agrario del agua

Uso industrial del agua

Suministro de agua potable					
Problemas	Fuerzas motrices	Presión	Estado	Impacto	Respuesta
Exceso de nutrientes	Intensificación de la actividad agropecuaria	Carga de nitrógeno en las granjas	Nitrato en aguas subterráneas	Nitrato en agua potable	Control del uso de estiércol/fertilizantes
Contaminación por sustancias peligrosas	Producción de la industria química	Emisión de metales pesados	Concentración de metales pesados	Problemas de potabilidad	Cambio del contenido tóxico en los productos y en los procesos de producción
Descenso de la superficie piezométrica	Desarrollo económico	Demanda de agua potable/industrial	Descenso de la superficie piezométrica	Pérdida de productividad	Control de las extracciones Recarga artificial
Salinización/entrada de agua salina	Desarrollo económico	Sobreexplotación	Alta concentración de cloruro	Deterioro de la calidad del agua potable	Recarga artificial

### 3.3 Evolución de las necesidades de información y el seguimiento

Las necesidades de información evolucionan durante el proceso de seguimiento, en función de la gestión del agua, del logro de metas establecidas y de los cambios en las políticas adoptadas. Una información que evoluciona requiere un replanteamiento regular de la estrategia de recopilación de información y de las actividades de seguimiento derivadas de la anterior, con el fin de actualizar el enfoque aplicado. Todo ajuste en la recopilación de información debe tener en cuenta los largos tiempos de residencia del agua subterránea y el lapso de tiempo que transcurre antes de que se observe el impacto de las actividades humanas.

### 3.4 Objetivos y tipos de seguimiento

En un ámbito nacional, las redes de seguimiento suelen tener dos categorías de objetivos bastante amplias. Se puede hablar de redes de seguimiento básicas o de referencia y de redes de seguimiento con un propósito específico. El objetivo de las primeras (tablas 3.2 y 3.3) es triple: (1) proporcionar datos para caracterizar el régimen del agua subterránea, (2) proporcionar datos para detectar tendencias a largo plazo en los niveles del agua subterránea –cantidad- o en la calidad de la misma y (3) servir como red de referencia para las redes con fines específicos.

.....  
**Tabla 3.2**

Objetivos de los programas de seguimiento y evaluación de la calidad del agua subterránea (Chilton y Foster, 1997).

Objetivos	Resultados de la información
Tendencias	Mostrar tendencias en la calidad del agua o cambios de la cantidad derivados de causas naturales, del impacto de las fuentes difusas de contaminación y de los cambios en el régimen hidráulico
Niveles de referencia para aspectos futuros	Proporcionar información de fondo sobre calidad del agua subterránea para que puedan detectarse los impactos de futuras -todavía no definidas- actividades humanas
Distribución espacial	Proporcionar una imagen de la distribución tridimensional de la calidad del agua subterránea en los acuíferos
Alerta rápida	Alertar rápidamente en las áreas de recarga sobre los impactos de las fuentes difusas de contaminación

Un seguimiento formalmente establecido de las aguas subterráneas transfronterizas estará vinculado principalmente a los acuerdos derivados del Convenio o de otros acuerdos y directivas internacionales y estará referido a un área específica. Los siguientes cinco objetivos de seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas transfronterizas se derivan directamente del Convenio:

- Evaluación de la situación
- Cumplimiento de las normas o disposiciones del Convenio relacionadas con funciones/uso
- Respuesta de emergencia
- Cumplimiento en áreas de protección especial
- Remediación y restauración.

Estos objetivos y los distintos tipos de redes se han resumido en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**

Tipos principales de seguimiento de las aguas subterráneas derivados del Convenio

Objetivos	Tipos de redes de seguimiento de las aguas subterráneas	Información
Evaluación de la situación y cumplimiento	(a) Básica/de referencia	- situación natural - tendencias -estado natural, contaminación difusa, régimen hidráulico- - nivel de referencia -para detectar el impacto humano-. Niveles de fondo. - distribución espacial - cumplimiento - situación de referencia
Cumplimiento en áreas de protección especial y restauración	(b) Seguimiento vinculado a funciones y usos (c) Fines específicos	- normas de calidad - criterios, umbrales - riesgo para la salud - riesgo ambiental - validación - previsiones - eficacia de las medidas - implementación del seguimiento
Respuesta de emergencia	(d) Alerta rápida y control	- alerta rápida - umbrales - tendencias - riesgos - eficacia de las medidas - impactos

La especificación de un objetivo de seguimiento debe dejar principalmente claro por qué es necesaria la información, p.ej. para qué proceso de toma de decisión. También debe intentarse mostrar el uso pretendido de la información –finalidad- y el interés concreto en la gestión de las Partes ribereñas, p.ej. la protección de un uso determinado. A continuación se describen los tipos de seguimiento de la tabla 3.3.

#### *a. Seguimiento básico/de referencia*

El seguimiento básico/de referencia incluye operaciones para evaluar la situación. Este tipo de seguimiento establece una situación de fondo -referencia para poder determinar las tendencias causadas por las condiciones naturales y por la actividad humana que van más allá del ámbito local.

Para evaluar la situación, se necesitan informes a largo plazo que permitan determinar el posible impacto del cambio de uso del suelo y de las condiciones de bombeo, utilizando para ello un análisis estadístico. Suele realizarse a escalas muy diferentes -nacional, regional, local- y algunas directivas y convenios prescriben este tipo de seguimiento como obligatoria. En un contexto transfronterizo, pueden usarse las redes de seguimiento a ambos lados de la frontera, pero el análisis estadístico requiere una guía central de un órgano común. Este órgano debería servir también de guía sobre los aspectos críticos que deben vigilarse y sobre la organización y la interpretación estadística de los datos no procesados.

#### *b. Seguimiento vinculado a funciones y usos (cumplimiento)*

Esta estrategia está vinculada a la normativa, leyes y directivas relacionadas con el uso del agua subterránea. Este tipo de seguimiento sirve para proteger las funciones y los usos. El seguimiento debe responder a la cuestión de si el uso del agua subterránea cumple las leyes y normas antes mencionadas. Para las aguas subterráneas transfronterizas, esto implica que las partes ribereñas deben establecer y acordar los usos y funciones del agua subterránea en el acuífero transfronterizo.

Como los resultados del seguimiento pueden servir de base para acciones o medidas posteriores, se recomienda establecer un programa de garantía de la calidad para asegurarse de la fiabilidad de los laboratorios de análisis de aguas en las partes implicadas.

#### *c. Seguimiento para fines específicos*

Algunas actividades de gestión de aguas subterráneas requieren tipos especiales de investigación y seguimiento, como por ejemplo:

- el desarrollo y la evaluación de áreas de protección especial;
- la aplicación y evaluación de medidas de remediación y restauración;
- la investigación de las relaciones entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas;
- la modelación para predecir la migración de contaminantes;
- la investigación de las posibles fuentes de nitrato en aguas subterráneas como base para medidas de control de contaminación.

#### *d. Alerta y vigilancia*

El objetivo en este caso es recopilar información sobre vertidos accidentales que pueden afectar al abastecimiento de agua potable, para determinar los peligros para la salud pública de los vertederos abandonados o ilegales, o para determinar las fuentes de contaminación de las aguas subterráneas. Pueden perforarse pozos especiales para alerta, mientras que los pozos de producción pueden utilizarse normalmente para vigilancia.

La información resultante debe proporcionar una base suficiente para una respuesta de emergencia, que puede consistir en medidas adicionales específicas o en acciones de restauración. Las Partes ribereñas deben acordar las características de esta estrategia y de la respuesta en caso de emergencia.

## 4. Estrategias de seguimiento y evaluación

---

Las estrategias de seguimiento deben servir de guía para establecer prioridades ajustadas a la realidad, no sólo en términos de qué debe observarse y dónde, sino cuándo y con qué medios de financiación. Los órganos conjuntos ("joint bodies") deben evaluar periódicamente sus actividades de seguimiento para confirmar que cumplen sus objetivos de la forma más eficaz y económica posible.

### 4.1 Aspectos estratégicos básicos

Una vez fijados los objetivos, hay que desarrollar una estrategia más específica antes de comenzar el diseño real de una red de seguimiento. Dicha estrategia, adecuadamente formulada, debe tener en cuenta los siguientes aspectos y cuestiones.

#### a. Sistemas de información y seguimiento existentes

En primer lugar, debe recopilarse información sobre las partes relevantes del acuífero transfronterizo sujeto al Convenio. ¿Se dispone ya de información de interés proveniente de otras fuentes, p.ej.: sistemas de seguimiento existentes, estudios, modelos, otros suministradores de datos?

¿Pueden los sistemas de seguimiento e información existentes proporcionar la información necesaria ajustando su funcionamiento? ¿Es posible usar la base de datos del sistema de información existente? ¿Qué se necesita que aporte un nuevo sistema de seguimiento?

#### b. Evaluaciones necesarias

¿Qué tipo de evaluaciones han de efectuarse, p.ej.: estado natural, condiciones de referencia, cumplimiento de la normativa sobre usos y funciones, niveles de contaminación, evaluación de riesgos para la salud pública o para el medio ambiente, evaluación de alerta?

#### c. Tipo de seguimiento

Si es necesario realizar un seguimiento, ¿Qué tipo de seguimiento se precisa? ¿Será suficiente un solo estudio o se necesita un seguimiento más extenso?

#### d. Técnicas de seguimiento

¿Cuáles son las técnicas de seguimiento disponibles y adecuadas, p. ej.: seguimiento de aguas superficiales, seguimiento meteorológico, técnicas de teledetección, seguimiento de evaluación rápida - caso del uso de plaguicidas-, uso del agua, métodos geofísicos, redes de seguimiento en la zona no saturada, sistema de seguimiento con medición continua? (Véase también el capítulo 5).

#### e. Enfoque gradual

¿Es procedente adoptar un enfoque gradual para establecer una red de seguimiento, procediendo desde evaluaciones con poco detalle hasta evaluaciones más precisas?

#### f. Responsabilidades

¿Quién será responsable de la organización del sistema de seguimiento -diseño, aplicación, funcionamiento y evaluación-? En el capítulo 8 se comentan los acuerdos y soluciones institucionales relacionadas con estas responsabilidades.



#### *g. Recursos financieros y humanos*

¿Cuál es el presupuesto disponible y, en consecuencia, con qué recursos humanos se puede contar? Las autoridades responsables deben tener en cuenta que el seguimiento de las aguas subterráneas debe garantizarse normalmente a largo plazo.

#### *h. Integración*

Según las “Directrices sobre seguimiento y evaluación de la calidad del agua en los cursos de agua transfronterizos” (UN/ECE, 1996), la integración de actividades de seguimiento por razones de rentabilidad en una fase temprana del ciclo de seguimiento puede tener como resultado redes de control sobredimensionado o infradimensionado. Por ello, se recomienda desarrollar una estrategia de información para cada objetivo de seguimiento o necesidad de información. La integración de las tareas de seguimiento puede efectuarse en la fase de implementación.

El desarrollo de la estrategia de seguimiento debe tener como resultado la especificación de una o más opciones para las cuales puede diseñarse un sistema determinado. Los siguientes apartados tratan del diseño de los diferentes componentes de un sistema de seguimiento.

### **4.2 Elementos de las estrategias de seguimiento y evaluación**

#### *a. Inventarios y estudios preliminares*

Las Partes ribereñas deben encargarse de efectuar inventarios y otras actividades preliminares antes de proceder al seguimiento de los acuíferos transfronterizos. El alcance de estas actividades depende de los objetivos del programa, la complejidad de la hidrogeología y el número y la naturaleza de cuestiones a tratar. Los estudios proporcionan la información básica necesaria para organizar el seguimiento de la forma más eficaz y eficiente posible. Los inventarios incluyen una revisión general de toda la información relevante para el aspecto sometido a consideración, una evaluación de las características del acuífero, el marco hidrogeológico, una investigación sobre la presencia de contaminantes o sobre impactos adversos a distintas profundidades en el acuífero. Asimismo, la eventual necesidad de otros datos resultará más evidente como resultado de estos inventarios. Los estudios deben emprenderse cuando el inventario muestre que faltan datos. Los estudios son también útiles para determinar la variabilidad espacial y temporal de los parámetros elegidos para el seguimiento.

#### *b. Enfoque gradual*

Como el seguimiento cumple diferentes objetivos y las necesidades de información varían entre cuestiones generales y características específicas del sistema, la elección de los parámetros y de los métodos dependerá también de ambos. El enfoque gradual, procediendo desde evaluaciones más generales a otras más de detalle, es particularmente adecuado para el seguimiento de la calidad del agua subterránea. Cada paso debe concluirse con una evaluación acerca de si la información obtenida es suficiente o no. Este enfoque puede conducir, finalmente, a una reducción de las necesidades de información para un posterior seguimiento y elaboración de mapas temáticos.

En general, un enfoque por fases, que vaya de simple a avanzado, es aconsejable también por razones de rentabilidad. Adicionalmente, para los países en desarrollo y los países en transición, se recomienda establecer prioridades temporales para la introducción de nuevas estrategias de seguimiento, que vayan desarrollándose desde métodos de trabajo intensivo a métodos de tecnología intensiva. En muchos casos, la falta de datos apropiados y fiables y la ausencia de un nivel de referencia adecuado para evaluar el progreso logrado hacen que este enfoque sea el más realista.

Dicha rentabilidad puede acentuarse tomando una serie de medidas entre las que pueden mencionarse las siguientes:

- alcanzar acuerdos para especificar las necesidades de información y los objetivos del seguimiento;

- establecer programas de seguimiento controlados que estén estrechamente vinculados a las necesidades de información antes mencionadas;
- promover un seguimiento más integrado -calidad y cantidad; integrado en términos de enfoque orientado al ecosistema, con conexión explícita con el sistema socio-económico-, lo que puede aumentar su eficacia -relaciones causa-efecto- y su eficiencia;
- utilizar modelos que pueden contribuir a la evaluación integrada de la modelación del área transfronteriza, mediante el análisis del sistema de flujo subterráneo a gran escala, a la investigación de políticas alternativas, a la optimización del diseño de la red de seguimiento y a la evaluación de la eficacia de las medidas aplicadas;
- utilizar manantiales como puntos de información, ya que evitan la realización de sondeos y constituyen un ejemplo no alterado y representativo de las aguas subterráneas. Además, los datos relacionados con los manantiales constituyen una información agregada, mientras que un pozo o sondeo sólo proporciona datos relativos al punto en cuestión;
- aplicando un enfoque gradual, obteniendo de esta forma más información con un menor coste.

#### *c. Cartografía de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación*

En general, los acuíferos o las partes de los acuíferos más vulnerables requerirán un seguimiento más detallado; por ello, la representación cartográfica de la vulnerabilidad del acuífero puede servir de criterio para asignar determinadas prioridades a las tareas de seguimiento. La intensidad del seguimiento está relacionada con aquellas partes del acuífero que tienen más probabilidades de verse afectadas por un proceso de contaminación. Para el seguimiento de la calidad del agua subterránea, la cartografía de vulnerabilidad se basará generalmente en el tipo de suelo y en las características intrínsecas del acuífero.

Cabe señalar que la recopilación de la información necesaria para elaborar mapas de vulnerabilidad que puedan utilizarse en el diseño de las redes de seguimiento o para la evaluación de riesgos, supone un proceso laborioso.

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación puede ser un factor relevante al interpretar e informar sobre los resultados del seguimiento, para evaluar si los recursos de agua subterránea están protegidos adecuadamente o si son suficientes las medidas adoptadas como parte de los planes de acción para las aguas subterráneas.

#### *d. Evaluación de riesgos*

La evaluación de riesgos puede ayudar de manera significativa a establecer prioridades entre las actividades de seguimiento. Por ejemplo, es poco probable que un acuífero transfronterizo relativamente pequeño en un área escasamente poblada se encuentre amenazado. Si hay disponibilidad suficiente de agua superficial y, en consecuencia, no se utiliza el agua subterránea, prácticamente no habrá funciones vinculadas a este acuífero. Mediante una simple evaluación de riesgos -consideración de las funciones y amenazas en un contexto específico, p.ej. baja densidad de población- las autoridades podrán conceder una mayor prioridad al seguimiento en otro lugar. Por otra parte, este procedimiento puede ser útil cuando se realice una estimación de los posibles daños si no se realiza el seguimiento del agua subterránea.

La evaluación de riesgos puede servir también para determinar si la estrategia de seguimiento elegida cubrirá la mayor parte de la información necesaria. El uso de modelos ayudará a investigar las políticas alternativas. La optimización del diseño de una red incluirá también un elemento de evaluación de riesgo; si ha descendido el número de pozos de la red, ¿seguirá la información resultante cubriendo las necesidades de información?

#### *e. Modelos*

Los modelos, especialmente los modelos matemáticos, desempeñan distintas funciones en el seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas transfronterizas. Pueden ayudar en la modelación integrada de las

áreas transfronterizas -análisis del sistema general de flujo de las aguas subterráneas-, en la investigación de políticas alternativas, en la optimización del diseño de la red de seguimiento, y en la evaluación de acciones operativas tales como la eficacia de las medidas aplicadas, la determinación del impacto en los acuíferos y el riesgo para la salud humana y el ecosistema. La modelación integrada de áreas transfronterizas debe ir precedida de un análisis del sistema general de flujo subterráneo. El objetivo de esta modelación debe ser establecer un modelo conceptual (o de identificación) basado en un enfoque suficientemente simplificado.

Además de su utilidad en las actividades de seguimiento, los modelos pueden integrarse en los programas de optimización de dicho seguimiento. La modelación matemática dará resultados positivos sólo si la metodología está correctamente integrada con la recopilación de datos, el procesamiento de los mismos y otros procedimientos de evaluación de las características del sistema de agua subterránea.

Cuando las Partes ribereñas lleven a cabo la modelación de los acuíferos transfronterizos, deben tener presente que la estandarización y la accesibilidad de los datos -interfases a bases de datos y a GIS- son aspectos de la mayor importancia, mucho más que la estandarización de las aplicaciones informáticas.

#### *f. Indicadores*

El seguimiento y la evaluación deben diseñarse para aumentar la capacidad de adaptar los objetivos de seguimiento a las necesidades de información de las Partes ribereñas o de los órganos responsables de la gestión del agua y también para analizar la información resultante de forma que sea relevante. Esto debe incluir una síntesis y una evaluación de la información de forma integrada. Los indicadores ayudarán a lograr esta evaluación integrada, al igual que también lo hará la especificación de las necesidades de información antes de establecer los objetivos del seguimiento.

Identificar los indicadores adecuados requiere un enfoque equilibrado entre las necesidades de información de quienes toman las decisiones y los costes y las limitaciones que lleva aparejada la obtención de los datos apropiados. Debe destacarse la necesidad de adoptar un enfoque gradual para seleccionar y desarrollar dichos indicadores. Puede basarse en los elementos fundamentales de la gestión del agua; problemas, presiones –amenazas- y el impacto de las medidas en el funcionamiento general del sistema de agua subterránea (véase también la tabla 3.1).

Cuando las necesidades de información están suficientemente especificadas y antes de poder seleccionar o desarrollar los indicadores, se necesita información sobre lo siguiente: características hidrológicas y geoquímicas del sistema de agua subterránea, usuarios de la información y recursos técnicos y financieros disponibles. La obtención de esta información ayudará a seleccionar o desarrollar de forma ajustada los indicadores más útiles y rentables para los programas de seguimiento y evaluación.

#### *g. Evaluación integrada*

La necesidad de integrar el seguimiento de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales dependerá del grado en que están interrelacionados los procesos y las variables en el agua subterránea y las aguas superficiales, p.ej. infiltración. Si las medidas de gestión de las aguas subterráneas produjeran una modificación sustancial en el sistema de aguas superficiales asociado al acuífero, y si estos cambios tienen un impacto en funciones o usos específicos, se recomienda realizar una evaluación integrada de ambos sistemas.

Se recomienda también que las evaluaciones microbiológicas, incluida la identificación de fuentes potenciales de contaminación, se integren con la evaluación de riesgos -cuantificación del nivel de riesgo-, cuando existe un riesgo de contaminación del agua potable (Véase la Guía de la OMS sobre la Calidad del agua potable, 1993). Este enfoque es muy apropiado para suministro de agua en zonas rurales y debería ser combinado preferiblemente con una evaluación gradual de riesgo y una infraestructura de seguimiento que proporcione información básica relevante.

Los elementos antes mencionados requieren un acceso apropiado a los datos relevantes, y una cierta armonización de los mismos; estos datos pueden obtenerse de investigaciones y estudios o de programas de seguimiento.

## 5. Programas de seguimiento

Los programas de seguimiento y evaluación de las aguas subterráneas deben ejecutarse de forma gradual, habida cuenta de las limitaciones administrativas, presupuestarias y de medios humanos. La asignación para tareas de seguimiento vendrá condicionada por las circunstancias que concurren en cada caso. La identificación y la clasificación de las áreas en que se ubican las fuentes potenciales de contaminación o aquéllas con una explotación intensiva del agua subterránea, contribuirán a alcanzar una mayor eficacia en el desarrollo de los programas.

### 5.1 Aspectos generales

Una vez establecidos los objetivos técnicos y desarrolladas las estrategias específicas para cada caso, deberá diseñarse la red de seguimiento, que incluirá los aspectos siguientes:

- densidad de la red y ubicación de los puntos de medición;
- parámetros de seguimiento;
- tipos de puntos de seguimiento;
- frecuencia de mediciones y de toma de muestras de agua.

La tabla 5.1 recoge los aspectos mencionados.

**Tabla 5.1**

Factores a considerar en el diseño de la red (según Chilton et al., 1996)

Punto de muestreo/Mediciones		Muestreo/ frecuencia de las mediciones	Elección de parámetros químicos/ piezometría
Tipo	Densidad		
Hidrogeología (complejidad)	Hidrogeología (complejidad)	Hidrogeología (tiempo de residencia)	Usos del agua
	Geología del acuífero	Hidrología (influencias estacionales)	Calidad del agua
	Uso del suelo		Aspectos normativos
	Aspectos estadísticos	Aspectos estadísticos	
Costes	Costes	Costes	Costes

Las características hidrogeológicas de los acuíferos transfronterizos, el uso del agua y del suelo y la disponibilidad de fondos se encuentran entre los factores básicos que deben considerarse al construir la red de seguimiento. Los aspectos técnicos de los programas de seguimiento se comentan a continuación.

#### a. Densidad de la red

La densidad deseable de una red viene determinada básicamente por la complejidad hidrogeológica e hidroquímica del acuífero. Las unidades hidrogeológicas con un alto grado de heterogeneidad requerirán una red más densa de puntos de seguimiento.

En los acuíferos afectados por una explotación intensiva o por otras presiones antropogénicas -industria, agricultura intensiva, vertederos, instalaciones municipales o industriales abandonadas, etc.-, la densidad de la red deberá ser mayor. Como regla general, la densidad será función de las características del

acuífero, vulnerabilidad a la contaminación, explotación del agua subterránea, uso del agua y del suelo y población servida con agua subterránea.

**Densidades de redes piezométricas y de calidad de las aguas subterráneas en algunos países europeos (Jousma y Willems, 1996)**

	Densidad de la red piezométrica	Densidad de la red de calidad
	(N/100 km <sup>2</sup> )	(N/100 km <sup>2</sup> )
Suecia	0,11	0,04
Finlandia	0,02	0,02
Dinamarca	0,15	0,26
Reino Unido (Inglaterra/Gales)		0,40
Países Bajos	10,70	1,07
Bélgica/Flandes	1,61	1,61
Alemania/Baviera	1,00	0,47
Alemania/Nuevos estados		0,33
Hungría	2,27	0,55
España	1,95	0,22

*La densidad suele ser inferior para las redes de calidad que para las redes piezométricas. Una encuesta en nueve países europeos muestra que la diferencia entre las densidades de las redes oscila entre 0,02 puntos por cada 100 km<sup>2</sup> en la escasamente poblada Finlandia y el 1,61 en la densamente poblada Flandes. Las diferencias de densidad de las redes reflejan el tamaño del país, la densidad de población, el grado de vulnerabilidad a la contaminación, la intensidad de la explotación de las aguas subterráneas y los conflictos de intereses derivados de la misma, y la prioridad que se conceda a la protección ambiental (Jousma y Willems, 1996).*

*b. Selección de los puntos de la red*

La elección del tipo y de la ubicación de los puntos de observación suele regirse por dos criterios interrelacionados:

- la representabilidad específica de los puntos de observación en el acuífero;
- la posibilidad de determinar la distribución espacial y evolución de los niveles del agua subterránea a la escala de trabajo.

Los puntos de observación de una red deben ser representativos de:

- la configuración de los sistemas de flujo relevantes del agua subterránea;
- la extensión de los acuíferos, acuitardos y acuicludos y la distribución de las unidades geohidrológicas;
- otros aspectos relevantes en cada caso.

Para la selección de cada punto deberán realizarse las actividades siguientes:

- caracterización de los sistemas de aguas subterráneas y de la geometría de los acuíferos principales;
- evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación, basada principalmente en las condiciones del flujo de agua subterránea y en las características geológicas y edafológicas del acuífero;
- identificación de las presiones a que está sometido el sistema de agua subterránea, en particular las relativas al uso del suelo: agricultura, industria, vertederos, instalaciones militares, etc.;
- identificación de los problemas que afectan al acuífero: contaminación, sobreexplotación, salinización, etc.

Los puntos de las redes piezométricas pueden ser pozos o sondeos, siempre que los niveles no se vean significativamente afectados por la extracción de agua subterránea en las áreas vecinas. Para las redes de

calidad pueden emplearse sondeos de nueva construcción o pozos de bombeo. Debe subrayarse que los manantiales también puede usarse como puntos de la red, en particular para toma de muestras de agua subterránea. Por lo que respecta a representatividad, un manantial puede sustituir a varios pozos de seguimiento.

### c. Parámetros

La elección de los parámetros de seguimiento puede vincularse a los elementos fundamentales de la gestión del agua subterránea y dependerá de:

- las funciones y usos definidos del acuífero;
- las presiones a que está expuesto el acuífero;
- los problemas ya detectados.

Antes de seleccionar los parámetros, debe prepararse un inventario que incluya lo siguiente:

- caracterización cuantitativa y cualitativa del acuífero (*redes básicas/de referencia*);
- identificación de las funciones, usos y requisitos de calidad del agua subterránea, p.ej. función ecológica, suministro de agua potable, usos agrícolas e industriales (*redes de cumplimiento*);
- especificación de las amenazas a que está expuesto el acuífero, en particular las derivadas del uso del suelo: agricultura, industria, vertederos, instalaciones militares (*redes de alerta y de vigilancia*);
- especificación de los problemas ya detectados, p.ej. contaminación, sobreexplotación, salinización (*seguimiento para fines específicos*).

La tabla 5.2.a muestra un conjunto básico de parámetros para evaluar el estado cuantitativo de las aguas subterráneas en relación con algunos aspectos y funciones/usos.

**Tabla 5.2.a**

Parámetros para evaluar la cantidad de agua subterránea, en relación con algunos aspectos y funciones/usos

Aspectos	Funciones y usos	Parámetros
Desecación	Ecosistemas, agricultura	Niveles del agua subterránea
Explotación de agua	Ecosistemas, agricultura	Niveles de aguas superficiales y subterráneas
Abastecimiento de agua	Agua potable, agricultura, ecosistemas	Niveles del agua subterránea, extracciones
Aspectos de calidad del agua	Agua potable, ecosistemas	Niveles del agua subterránea, extracciones, niveles de aguas superficiales
Subsidencia del suelo	Áreas urbanas, agricultura	Niveles del agua subterránea y de aguas superficiales, extracciones
Salinización/ entrada de agua salina	Agricultura, agua potable	Niveles del agua subterránea, extracciones

La tabla 5.2.b muestra un conjunto básico de parámetros para evaluar el estado cualitativo del agua subterránea. Estos parámetros están agrupados en compuestos inorgánicos y orgánicos y según el método de análisis. Esta tabla, importante con respecto a las necesidades de información, esboza sólo un enfoque, pero no es suficientemente detallada para utilizarse directamente. Es necesaria una subdivisión posterior y es muy deseable contar con un enfoque formal que especifique los metales, plaguicidas y otros compuestos orgánicos, para que las series 3, 4 y 5 puedan adaptarse a las condiciones locales.

Las sustancias de la Lista II son Fe, Mn, Sr, Cu, Pb, Cr, Zn, Ni, As, Hg, Cd, B, F, Br y Cianuro. (Directivas sobre los nitratos y sobre el agua destinada al consumo humano)

Los resultados del inventario descrito anteriormente ayudarán a elegir los parámetros. En esta tabla, los grupos de parámetros están relacionados con algunos de los problemas mencionados en la tabla 2.1.

**Tabla 5.2.b**

Series de parámetros para evaluar la calidad del agua subterránea en relación con algunos problemas y funciones/usos. (Según Chilton et al., 1994)

Problemas	Funciones y Usos	Serie/grupos	Parámetros
Acidificación, salinización	Ecosistemas, agricultura	1. Parámetros de campo	Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica (CE).
Salinización, exceso de nutrientes	Agua potable, agricultura, ecosistemas	2. Iones mayoritarios	Ca, Mg, Na, K, CO <sub>3</sub> H, Cl, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , TCO, CE, balance iónico.
Contaminación por sustancias peligrosas	Agua potable, ecosistemas	3. Iones minoritarios y elementos traza	La elección depende parcialmente de las fuentes locales de contaminación derivadas del uso del suelo.
Contaminación por sustancias peligrosas	Agua potable, ecosistemas	4. Compuestos orgánicos	Hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, fenoles, clorofenoles. La elección depende parcialmente de las fuentes locales de contaminación que se indican en el enfoque del uso del suelo.
Contaminación por sustancias peligrosas	Agua potable, ecosistemas	5. Plaguicidas	La elección depende en parte de los usos del agua, del uso del suelo y de las sustancias detectadas en el agua subterránea.
Contaminación por sustancias peligrosas	Agua potable, agricultura	6. Bacterias	Coliformes totales, coliformes fecales.

#### *d. Procedimientos de medida de niveles piezométricos y de toma de muestras de agua subterránea*

Los niveles del agua subterránea deben medirse en relación con un punto de referencia fijo. Los datos observados del nivel en los pozos y sondeos deben recogerse en formularios especiales y enviarse a la institución competente.

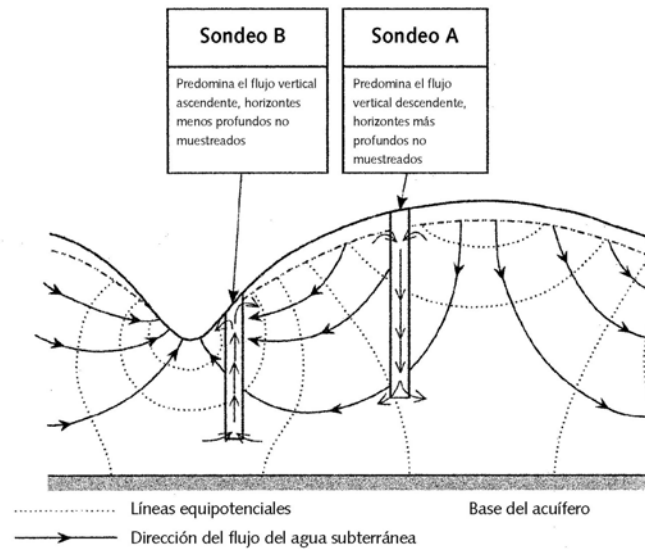
Debe considerarse el grado en que el nivel de agua medido es representativo de las condiciones reales de la carga hidráulica. Por ejemplo, cuando se produce extracción de agua, debe tenerse en cuenta la influencia de los bombeos en los niveles del agua subterránea. En acuíferos transfronterizos confinados o multicapa, debe considerarse la construcción de grupos de puntos de seguimiento a diferentes profundidades. Esto puede aplicarse también a las redes de calidad.

Los procedimientos de muestreo varían dependiendo del parámetro o grupo de parámetros objeto de estudio. Algunos, como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto (OD) y la conductividad eléctrica (CE) pueden medirse directamente in situ. Otros parámetros tienen que ser determinados en laboratorio. En este caso, deben tomarse muestras y luego ser transportadas, a veces en condiciones especiales. Cuando se trate de varios parámetros, pueden necesitarse varias muestras, cada una de ellas almacenada en un tipo distinto de contenedor y con una técnica distinta de conservación.

Las muestras de agua pueden extraerse de los pozos o sondeos de explotación o de sondeos construidos específicamente para la red. Las muestras de agua de sondeos o de manantiales que drenan de forma más o menos continua caudales relativamente altos pueden proporcionar bastantes muestras suplementarias de la calidad del agua, especialmente si los sondeos penetran más o menos completamente el acuífero y si las muestras proceden de una porción significativa de la zona saturada (figura 5.1).

.....  
**Figura 5.1**

El efecto de los componentes del flujo vertical en sondeos abiertos en el fondo o con rejilla continua.  
(Según Foster y Gomes, 1989)



Las muestras son menos representativas si existen variaciones en la vertical en las características químicas del agua subterránea. Una muestra de agua extraída en un sondeo de explotación puede ser una mezcla heterogénea del agua que ha penetrado en el sondeo a través de los filtros o del fondo de la perforación. En este caso, el agua procede de un espesor considerable del acuífero o quizá de más acuíferos. Las muestras obtenidas en este tipo de pozos o sondeos pueden ser un indicador poco sensible del posible deterioro de la calidad del agua subterránea derivado de actividades en la superficie.

Un problema adicional en cuanto a la representatividad de las muestras está relacionado con la ubicación del punto de agua, cuando éste está situado en áreas de recarga o descarga de agua subterránea, con unos componentes significativos de flujo vertical en el acuífero.

La toma de muestras en sondeos de observación tienen limitaciones similares con respecto a su representatividad hidrogeológica. En este caso es recomendable la utilización de una pequeña bomba eléctrica sumergible.

La toma de de muestras en pozos de la red de seguimiento debe hacerse en dos fases. La primera consiste en eliminar las aguas estancadas en el pozo y la segunda es la extracción de la muestra propiamente dicha. Para extraer el agua estancada puede usarse una bomba eléctrica, cuya capacidad de bombeo debe adaptarse a las condiciones hidrogeológicas. En general, el descenso del nivel del agua subterránea no debe exceder los 2 metros o más del 10% del espesor de la zona saturada del acuífero. Normalmente, se sigue un ritmo lento de bombeo para evitar que entres de aire. La bomba se introduce en el pozo hasta el filtro o rejilla, pero por encima de él, para evitar daños en la bomba por la entrada de arena ocasionada por la hidráulica del pozo. La extracción del agua estancada debe controlarse midiendo el pH, la temperatura del agua subterránea o la conductividad eléctrica. Las muestras deben tomarse cuando estos parámetros se hayan estabilizado.

Normalmente, las muestras para un análisis inorgánico deben filtrarse antes de conservarlas para eliminar las partículas en suspensión, que pueden disolverse cuando se añaden conservantes, dando lugar a valores distorsionados de la concentración iónica.



Las Partes ribereñas deben acordar los métodos generales de muestreo, el cual debe ser efectuado por personal capacitado. Los análisis químicos deberán ser realizados por laboratorios acreditados.

#### *e. Frecuencia del muestreo y de la medición de niveles*

Las frecuencias del muestreo en los programas de seguimiento de la calidad del agua suelen estar condicionadas por circunstancias presupuestarias y disponibilidad de recursos, así como por consideraciones de tipo estratégico. No obstante, también influyen otros factores de tipo científico y técnico. La frecuencia del muestreo viene determinada básicamente por factores hidrogeológicos e hidrológicos (tabla 5.1).

Los factores hidrológicos implican la posibilidad de variaciones estacionales en algunos parámetros descriptores de la calidad. La recarga del agua subterránea se produce estacionalmente y su distribución varía ampliamente en la región de la CEPE, debido a las condiciones climáticas. El comienzo de la recarga puede producir un aumento de la lixiviación de solutos de la superficie y una mayor dilución. Las variaciones estacionales pueden ser también importantes en relación con sustancias cuyo uso tiene un componente fuertemente estacional, caso de los plaguicidas.

La frecuencia de las mediciones de los niveles de agua subterránea depende en gran medida de la hidrodinámica en el acuífero, determinada por sus características hidrogeológicas -tipo y profundidad del acuífero-, factores hidrológicos -meteorología, precipitación, escorrentía- y actividad humana -extracciones de agua subterránea, recarga inducida, flujo de retorno de riegos, control del nivel de las aguas superficiales, etc.-. Cabe añadir lo siguiente:

- la frecuencia de las mediciones debe ajustarse a la fluctuación temporal de los niveles y al grado de precisión requerido al identificar los patrones de dicha fluctuación;
- el seguimiento de las variaciones y de las tendencias a largo plazo puede realizarse con mediciones relativamente poco frecuentes, mientras que la identificación exacta de las fluctuaciones estacionales requiere una frecuencia superior;
- los criterios de diseño de la red deben ajustarse a los objetivos prefijados, teniendo en cuenta los fondos disponibles.

En la práctica, la frecuencia de las mediciones es muy variable: en ocasiones, tiene carácter anual; en otros casos, hasta dos veces al mes, pudiendo llegar a tener un carácter continuo en el tiempo.

#### *f. Métodos estadísticos*

Existen varios enfoques y métodos estadísticos para el diseño de redes (Loaiciga et al., 1992). Pueden identificarse dos criterios generales:

- *representatividad*: para optimizar la red, con el fin de asegurar que la complejidad hidrogeológica y las variaciones en la calidad estén adecuadamente representadas;
- *evaluación fiable*: con objeto de fijar la frecuencia de muestreo necesaria para detectar cambios temporales en la concentración media de cualquier parámetro.

Un ejemplo de dichos procedimientos estadísticos es el "kriging", que suele aplicarse para optimizar las redes piezométricas, reduciendo con ello el número de puntos de seguimiento.

Debe subrayarse que las técnicas estadísticas tienen sus limitaciones y que sólo deben ser aplicadas por expertos con una amplia experiencia en hidrogeología, porque:

- la mayoría de los métodos parten de importantes suposiciones simplificadoras sobre el medio hidrogeológico;
- la mayoría de los métodos se utilizan en casos de contaminación potencial o real desde fuentes puntuales de contaminación en un ámbito local reducido;
- una limitación general de tales métodos es la dificultad de encontrar objetivos estadísticos que representen adecuadamente los objetivos normalmente complejos del programa de seguimiento;
- la mayoría de los métodos asumen que las estrategias de seguimiento se fijan inicialmente y no sufren modificaciones. Presentan por ello limitaciones en cuanto al necesario *feedback* y los reajustes consiguientes en el diseño de la red, esenciales en los programas de evaluación de calidad del agua subterránea.

Por último, conviene reseñar que una evaluación comparativa de diferentes densidades de muestreo hace necesario disponer de grandes volúmenes de datos reales de calidad.

*g. Métodos indirectos de seguimiento de la calidad del agua subterránea*

En algunas circunstancias, para objetivos y parámetros específicos pueden utilizarse métodos indirectos de seguimiento de la calidad del agua subterránea. El uso de registros de conductividad en pozos sirve para conocer la distribución tridimensional de intrusión salina es un caso puntual. El uso de métodos geofísicos es más eficaz cuando las diferencias de calidad del agua subterránea son lo suficientemente claras como para ocasionar contrastes físicos significativos. En algunas condiciones hidrogeológicas, puede usarse la medición de la resistencia del suelo mediante geofísica superficial para evaluar la dispersión lateral de la salinidad en el acuífero.

En casos de contaminación puntual procedente de hidrocarburos volátiles, el uso de métodos de detección de los gases del suelo puede ofrecer un medio rentable de estudio de la evolución del contaminante. Estos dos métodos indirectos precisan de un control adecuado a efectos de contraste mediante el análisis de muestras en sondeos de investigación y la construcción de puntos permanentes de seguimiento.

*h. Costes*

En la fase inicial del programa de seguimiento deben utilizarse los puntos de observación existentes o los pozos de explotación ubicados en el acuífero transfronterizo, especialmente para fines de muestreo de agua subterránea. Cuando sea posible, deben seleccionarse pozos de propiedad pública que garanticen el acceso permanente para la toma de niveles y de muestras.

Considerando los aspectos financieros del diseño de una red, puede hacerse una distinción entre los componentes de capital, toma de muestras y análisis de agua.

La tabla 5.3.a ilustra el caso de las redes piezométricas. Para estas redes, los costes de capital – construcción, equipamiento y mantenimiento- en general y también los costes de medición serán algo inferiores que los de las redes de calidad del agua subterránea. El procesamiento de los datos de niveles del agua subterránea, como la verificación y el control de calidad, se considera parte de la gestión de datos, de forma que, en este caso, no existen costes analíticos.

**Tabla 5.3.a**

Influencia del diseño de la red piezométrica los costes de seguimiento

Componente de coste	Puntos de medición		Frecuencia de medición
	Tipo	Densidad	
Capital	++	++	-
Mediciones	+	++	++
Gestión de datos	-	+	+

++ mayor influencia + menor influencia – influencia insignificante

La mejora del seguimiento del estado cuantitativo del agua subterránea supone un incremento significativo de los costes de observación si se necesita una densidad superior de puntos y una mayor frecuencia de medición. Los costes adicionales de gestión de datos son relativamente modestos en comparación con los costes de medición.

La tabla 5.3.b se refiere a las redes de seguimiento de la calidad del agua subterránea. La mejora del seguimiento de la calidad del agua subterránea sólo tiene implicaciones importantes de costes de capital si se necesita construir un número significativo de puntos de muestreo para sustituir puntos que ya no sirven o para proporcionar cobertura adicional. En comparación, los costes de capital para bombas adicionales de extracción o para equipos de campo son relativamente modestos. Siempre debe hacerse una provisión de

costes de capital a largo plazo para poder adaptarse a las nuevas tecnologías de instrumentación y para cumplir con las eventuales exigencias de detección mínima de compuestos químicos.

**Tabla 5.3.b**

Influencia del diseño de la red de calidad de agua subterránea en los costes de seguimiento (Chilton y Milne, 1994)

Componente de coste	Puntos de muestreo		Frecuencia de muestreo	Elección de parámetros
	Tipo	Densidad		
Capital	++	++	-	+ <sup>1</sup>
Toma de muestras	+	++	++	+ <sup>2</sup>
Análisis	-	++	++	++

++ mayor influencia + menor influencia – influencia insignificante

**Notas:**

<sup>1</sup> puede tener alguna influencia sobre las necesidades de instrumentos en el laboratorio.

<sup>2</sup> la introducción de parámetros de campo aumenta los costes del muestreo.

## 5.2 Requisitos específicos de diseño para distintos tipos de seguimiento

Diferentes estrategias de seguimiento y evaluación suelen significar diferentes redes y programas de seguimiento. Al desarrollar programas de seguimiento para acuíferos transfronterizos, las Partes ribereñas deben establecer y acordar el propósito y las necesidades de cada programa de seguimiento.

### a. Seguimiento básico/de referencia

Para el seguimiento básico/de referencia, debe instalarse una red básica o tomar muestras en las redes existentes. Los puntos de medición y muestreo actúan como estaciones de referencia y se utilizan regularmente a intervalos moderados. La frecuencia de seguimiento es de unas cuatro veces al año, dependiendo de las características del acuífero. En un acuífero no confinado, la frecuencia de las mediciones y del muestreo será mayor que en un acuífero confinado. Asimismo, la densidad de este tipo de red es también media. Los parámetros que deben considerarse suelen ser los medidos en el campo y los iones mayoritarios (tabla 5.2.b), pero también depende de los objetivos acordados, del uso del suelo y del tipo de pozo. Para las aguas subterráneas transfronterizas, las Partes ribereñas deben establecer los objetivos y los efectos resultantes del diseño de la red.

### b. Seguimiento vinculado a funciones y usos (redes de cumplimiento)

La densidad de las redes y la frecuencia del muestreo dependen de las funciones y los usos del agua subterránea. Un ejemplo es el seguimiento del aseguramiento de la calidad del suministro de agua potable, que implica muestreos periódicos de pozos de abastecimiento para determinar si se cumplen las normas de potabilidad. Por lo que se refiere al suministro de agua potable, cada función tiene sus propias normas.

### c. Seguimiento para fines específicos (redes específicas)

La densidad de la red y la frecuencia de las mediciones y el muestreo son, en este caso, superiores que las de las redes de seguimiento mencionadas anteriormente y están estrechamente relacionadas con el uso del suelo y el tipo de acuífero. En un contexto transfronterizo, este tipo de seguimiento requiere una estrecha cooperación entre las Partes ribereñas.

### d. Seguimiento de alerta y vigilancia

Las actividades de seguimiento de alerta rápida y vigilancia se realizan mayoritariamente en un ámbito local y tienen una densidad superior a las redes básicas o de referencia. Las frecuencias de muestreo y

observación suelen ser también ligeramente superiores. Deben muestrearse parámetros específicos, dependiendo de las amenazas detectadas y del uso del suelo.

### **Nueve reglas básicas para lograr buenos resultados en un programa de seguimiento**

1. En primer lugar, deben definirse los objetivos y, después, adaptar a ellos el programa, y no al contrario -como suele ser el caso en una red de seguimiento con fines múltiples-. Debe lograrse un apoyo financiero adecuado.
2. Deben conocerse el tipo y la naturaleza del acuífero -normalmente mediante estudios de control preliminares, incluyendo la variabilidad espacial y temporal dentro del acuífero. Los mapas del acuífero, con una escala apropiada -p.ej. 1:200.000-, son fuentes de información muy útiles:
  - mapa hidrogeológico y de vulnerabilidad;
  - mapas de isóneas de las formaciones geológicas subyacentes y suprayacentes al acuífero;
  - mapas de isopiezas de los niveles del agua subterránea;
  - mapas y listas de soneos -perfiles característicos y parámetros hidrogeológicos-, pozos de seguimiento -con datos básicos- extracciones significativas de agua subterránea -pozos o campos de pozos-, datos de ubicación y extracción, y pozos de muestreo de calidad regular del agua -lista de parámetros-;
  - datos de isótopos relacionados con la edad y el origen del agua subterránea.
3. Debe elegirse el tipo apropiado de pozo o manantial.
4. Los parámetros, tipo y frecuencia de las mediciones y del muestreo y la ubicación de los puntos de la red deben elegirse de acuerdo con los objetivos.
5. El equipo analítico de campo, el laboratorio y los instrumentos de análisis, p.ej. modelos, deben seleccionarse en función de los objetivos, y no al revés.
6. Debe establecerse un esquema completo y operativo de tratamiento de datos (DAP).
7. El seguimiento del agua subterránea debe acoplarse con el seguimiento de las aguas superficiales, cuando sea preciso.
8. La calidad de los datos recopilados debe ser comprobada regularmente mediante un control interno y externo. Deben suministrarse los datos a quienes toman las decisiones sobre gestión transfronteriza, no con una mera lista de variables y concentraciones o niveles, sino con una interpretación y evaluación de los datos realizados por expertos, con recomendaciones relevantes para acciones de gestión -como indicadores o índices-.
9. El programa debe ser evaluado periódicamente, especialmente si se han modificado la situación general o cualquier presión sobre el sistema del flujo de agua subterránea de forma natural o por efecto de las medidas adoptadas.



## 6. Gestión de los datos

---

Los datos obtenidos en el seguimiento de los acuíferos transfronterizos, recopilados por los países ribereños, deben ser comparables, estar disponibles para su integración con otra información procedente de fuentes diversas y aptos para su agregación espacial y temporal. Los datos recopilados en los programas de seguimiento de aguas subterráneas deben ser validados, almacenados y fácilmente accesibles. El propósito de la gestión de los datos es convertirlos en información útil para las necesidades específicas y los objetivos establecidos en el programa de seguimiento.

### 6.1 Procedimientos de gestión de los datos

Recopilar y procesar datos es un proceso costoso. Las cuestiones fundamentales consisten en recopilar los datos relevantes siguiendo un control de calidad, utilizar los instrumentos y las técnicas estadísticas apropiadas y transmitir los mensajes oportunos de manera comprensible. Aunque puedan parecer requisitos simples, no suelen cumplirse y se necesita una considerable inversión en conocimientos y en equipo para lograr unos resultados acordes con la inversión realizada. Los países ribereños deben armonizar por ello sus métodos de seguimiento y almacenamiento de datos.

Para salvaguardar el uso futuro de los datos recopilados, es necesario seguir determinados procedimientos de gestión para que la información pueda ser usada correctamente:

- los datos deben ser analizados, interpretados y convertidos en formas definidas de información, utilizando las técnicas apropiadas de análisis;
- los datos recopilados deben ser validados o aprobados antes de que sean accesibles para cualquier usuario o se almacenen un archivo;
- la información debe ser entregada a aquéllos que necesitan usarla para tomar decisiones, validar modelos, evaluar la gestión o investigar. La información debe ser presentada en un formato que resulte útil a los diferentes grupos interesados, p.ej. en mapas integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG);
- el intercambio de los datos y de la información almacenados debe ser facilitado no sólo en el ámbito del propio órgano encargado del seguimiento, sino también en otros ámbitos -internacional, región de la CEPE, órgano local de gestión del acuífero, etc.-.

### 6.2 Diccionario de datos

El primer archivo de los datos de seguimiento suele elaborarse en las agencias encargadas del seguimiento en cada país ribereño. La cooperación transfronteriza requerirá el intercambio de dichos datos, especialmente cuando se utilicen modelos en evaluaciones conjuntas. En ese caso, las bases de datos deben armonizarse para facilitar su comparación, estableciendo acuerdos estrictos y claros sobre la codificación y la meta-información. Para el almacenamiento suelen utilizarse aplicaciones informáticas con formatos que faciliten las posibilidades de intercambio, promovidas mediante acuerdos sobre disponibilidad y distribución. Las Partes ribereñas deberán confeccionar conjuntamente un diccionario de datos que contenga los requisitos acordados y las definiciones de los términos utilizados para el intercambio de información.

### 6.3 Validación de los datos

Aunque exista un control de calidad de las distintas operaciones del programa de seguimiento –perforación de sondeos, toma de muestras, análisis químico- la validación de los datos es una parte fundamental del proceso de gestión. El control regular de nuevos datos debe incluir la detección de valores anómalos, lagunas de información y otros errores obvios -mg/l en lugar de  $\mu$ /l-. La aplicación informática utilizada puede ser de gran ayuda en labores de control tales como el análisis de correlación. No obstante, son elementos indispensables para la validación un juicio experto y un conocimiento profundo de los acuíferos subterráneos. Cuando los datos han sido verificados minuciosamente y se han hecho las correcciones y adiciones necesarias, puede procederse a su validación y facilitar su acceso.

#### **6.4 Almacenamiento de los datos y meta-información**

Los datos deben almacenarse de forma que sean accesibles y completos y cumplan con los requisitos habituales –p.ej. , límites de detección, dimensiones y unidades (NO<sub>3</sub>-N o NO<sub>3</sub>)- exigibles en materia de recopilación y análisis.

Asimismo, debe almacenarse la suficiente cantidad de datos adicionales -‘metainformación’- necesarios para su interpretación. Habitualmente se incluyen el tipo y coordenadas del punto de medición, la profundidad de la toma de muestra y las técnicas de conservación y análisis de la muestra de agua.

En el caso de modelación de acuíferos transfronterizos, la estandarización de la accesibilidad a las bases de datos o al SIG es más importante que la aplicación informática utilizada. Si el modelo conceptual y los datos básicos son fiables, los resultados serán comparables aunque el programa utilizado por los países ribereños no sea el mismo.

La gran cantidad de datos recopilados en las redes de seguimiento de las aguas subterráneas deberá ser almacenada en bases de datos preferiblemente relacionales, que deben ser la piedra angular de un SIG integrado. Aunque los datos se almacenen en una base de datos correctamente diseñada, es necesario un sistema de información para gestionar, recuperar y visualizar los datos analizados en soportes tales como mapas, gráficos, diagramas e informes. Las interfaces gráficas facilitarán el uso del sistema de gestión de la información, ya que no será necesario conocer la estructura física de la base de datos.

Resulta esencial que cualquier sistema de bases de datos esté protegido frente a la entrada de datos sin la metainformación adecuada. Es por ello recomendable que las Partes ribereñas adopten un procedimiento conjunto mediante el establecimiento de acuerdos relativos a los formatos digitales de intercambio de datos.

#### **6.5 Análisis e interpretación de los datos**

La conversión de datos en información implica el análisis y la interpretación de los mismos. El análisis debe hacerse de acuerdo con un Protocolo de Análisis de Datos (DAP), que defina claramente la estrategia concreta de análisis y tenga en cuenta las características específicas de los datos en cuestión, tales como lagunas de información, límites de detección, datos censurados, datos extremos, no-normalidad y correlación serial. La adopción de un DAP proporciona da a la organización competente u órgano común una cierta flexibilidad en sus procedimientos de análisis, pero requiere que esos procedimientos estén documentados.

Para el almacenamiento de datos en ordenador, una vez efectuado su análisis -normalmente de carácter estadístico-, se pueden utilizar aplicaciones informáticas apropiadas o un SIG que facilitarán un tratamiento automatizado. Un DAP debe incluir procedimientos para procesar los datos del seguimiento con el fin de cubrir las necesidades específicas de la interpretación de datos –p. ej. cálculos basados en datos de mediciones individuales o en medias anuales, y técnicas estadísticas utilizadas para eliminar influencias deterministas y no relevantes-. Deben incluirse también métodos contrastados de detección de tendencias y un control de cumplimiento.

#### **6.6 Intercambio de datos**

El intercambio de datos digitalizados precisa de un formato prefijado, basado en el diccionario de datos antes reseñado y compatible con los sistemas de almacenamiento de datos de los países ribereños. En una situación ideal, dichos sistemas deben permitir importar los datos para su utilización en modelos o para su análisis. Puede plantearse la creación de un sistema común de almacenamiento, bajo la coordinación de un órgano conjunto. (Véase también el capítulo 8).

#### **6.7 Redacción de informes**

El DAP puede extenderse a los formatos de redacción de informes sobre la información recopilada –p. ej. en mapas en un entorno SIG-. Establecer un protocolo de redacción de informes puede ayudar a definir las diferentes características para los distintos usuarios. Dicho protocolo debe incluir directrices sobre

frecuencia de producción, contenido/detalle de la información y formato de presentación. Los objetivos del seguimiento deben presentarse siempre como una parte de la información contenida en el informe.

Debe promoverse la estandarización de los informes y mapas de cada acuífero transfronterizo. Para redactar informes fiables de los países Partes del Convenio, que describan la situación de sus aguas transfronterizas en relación con los usos del agua y con el ecosistema, se requerirán mejoras en la comparación de los datos –p. ej. normalización de la perforación de pozos y sondeos, de la toma de muestras y de la modelación- y en el desarrollo de un DAP.

La presentación de los informes es el paso final del programa de gestión de datos y constituye el vínculo entre la recopilación de información y los usuarios de ésta. Para poder distribuir la información de manera adecuada, los informes deben tener un carácter periódico. La frecuencia y el nivel de detalle dependen del uso de la información. El personal técnico necesitará informes detallados con mayor frecuencia que los encargados de redactar las políticas de gestión. Es conveniente publicar informes de situación con carácter anual para cada acuífero transfronterizo, con objeto de enfatizar el vínculo entre las medidas políticas - respuesta social- y el estado de las aguas subterráneas.

Resulta conveniente la redacción de informes periódicos para todo el ámbito geográfico del Convenio, que pueda cubrir todos los acuíferos transfronterizos que han sido identificados -cada tres años, por ejemplo-, para fomentar la evaluación de los progresos logrados en la aplicación del Convenio, estimular el compromiso de las Partes y poner los resultados a disposición del público.





# 7. Gestión de la calidad

---

La gestión de la calidad comprende la definición de una política y de un sistema de calidad. La armonización de métodos y el cumplimiento de los estándares internacionales son condiciones esenciales para lograr un intercambio fructífero de información.

## 7.1 Fines de la gestión de la calidad

La principal finalidad de la gestión de calidad en el seguimiento y la evaluación de las aguas subterráneas puede expresarse con los términos “eficacia” y “eficiencia”. La eficacia es el grado en que la información obtenida del sistema de seguimiento cubre las necesidades de información. La eficiencia hace referencia a la obtención de información con el coste financiero y de personal más bajo posible.

La capacidad de seguimiento, que es la segunda finalidad de la gestión de la calidad, consiste en definir los procesos y actividades desarrollados para obtener la información y la forma en que se han logrado los resultados. Cuando estos procesos se conocen, pueden adoptarse medidas para mejorarlos.

## 7.2 Política de la calidad

La política de la calidad define el nivel de calidad que debe alcanzarse. El órgano conjunto transfronterizo debe formular dicha política y, en consecuencia, establecer los requisitos previos de la gestión de la calidad. La aplicación de esa política implica inversiones en sistemas de calidad y en capacitación del personal. Por consiguiente, la gestión de la calidad sólo puede llevarse a la práctica cuando los órganos directivos de las organizaciones responsables del seguimiento están comprometidos en lograrla y proporcionan los fondos suficientes.

Como puede haber distintas organizaciones implicadas en la gestión del agua subterránea, es esencial el papel del órgano conjunto y resulta imperativo el compromiso de todas las organizaciones involucradas en desarrollar una gestión de la calidad.

## 7.3 Sistema de la calidad

El sistema de la calidad debe documentar las actividades relevantes, las interacciones entre esas actividades y los resultados a conseguir mediante procedimientos y protocolos, considerando cada elemento del ciclo de seguimiento. Del mismo modo, el sistema de la calidad tiene que documentar las responsabilidades relacionadas con dichos procedimientos. Al establecerlos, deben subrayarse especialmente las responsabilidades en los puntos de decisión, tales como la aprobación de la estrategia de seguimiento o la aceptación de muestras en un laboratorio. Los procedimientos y protocolos deben describir la documentación que hay que elaborar, p. ej., el extravío de muestras de agua o las condiciones meteorológicas durante el muestreo.

Debe controlarse periódicamente el cumplimiento de los procedimientos establecidos. Es esencial evaluar la utilidad de los mismos, ya que tienen que ser la base de unos productos con la calidad exigida.

## 7.4 Protocolos

Los protocolos para la especificación de las necesidades de información, la definición de las estrategias de seguimiento, el diseño de la red, la toma de muestras, su transporte y almacenamiento, los análisis de laboratorio, la validación, el almacenamiento, el análisis y la presentación de datos deben ser redactados y acordados por los países ribereños. Estos protocolos son los pasos operativos en un proceso donde un control insuficiente de la calidad puede llevar a obtener datos poco fiables. Si se cumplen los protocolos, los errores se minimizan y pueden ser fácilmente detectados y eliminados.

Como buena parte de la recopilación de datos en el seguimiento de las aguas subterráneas se efectúa in situ, debe hacerse especial hincapié en los protocolos que describan la toma de muestras y el análisis de datos. Es esencial establecer en estos protocolos las condiciones de dichas operaciones. Asimismo, hay

que tener en cuenta que la toma de muestras puede alterar la situación local del agua subterránea, por ejemplo al introducir aire en un ambiente anaeróbico. Los protocolos deben tener en cuenta la situación específica de los acuíferos subterráneos. Debe concretarse también el nivel de precisión y fiabilidad de los datos.

### **7.5 Requisitos del producto**

Los requisitos de todos los productos relevantes de las operaciones de seguimiento deben estar documentados explícitamente. El sistema de la calidad describe cómo se integran dichos requisitos en los procesos y cómo se tratan las desviaciones del cumplimiento de esos requisitos. Los requisitos estándar de productos recurrentes se incluyen en el sistema de la calidad.

Muchos de los datos sobre aguas subterráneas se utilizan en modelos y en presentaciones en un entorno SIG; por ello, los datos procedentes de la red de seguimiento deben ser apropiados para este fin. El diseño de la red debe tener en cuenta este aspecto. Asimismo, el almacenamiento y el análisis de los datos también deben adecuarse para dichos fines.

### **7.6 Estandarización y armonización**

Deben utilizarse determinados estándares para los métodos y técnicas de, entre otros, construcción de pozos, mediciones, muestreos, transporte y almacenamiento de muestras, análisis de laboratorio, procesamiento y convalidación de datos, almacenamiento e intercambio de datos, métodos de cálculo y métodos estadísticos. Es preferible usar estándares o normas internacionales. Si no se dispone de ellos o, por la razón que fuere, no es recomendable utilizarlos, los órganos conjuntos deben desarrollar las alternativas correspondientes.

Los estándares utilizados por las Partes ribereñas deben ser comparables. No es necesario que sean idénticos, pero para poder intercambiar información tienen que proporcionar datos comparables. El órgano conjunto debe acordar los estándares a utilizar en el ámbito transfronterizo.

Las actividades deben ser armonizadas por el órgano conjunto. Los países ribereños tienen que cooperar para elegir las ubicaciones, parámetros, etc., con el fin de evitar duplicaciones y reducir los esfuerzos de seguimiento.

## 8. Acción conjunta o coordinada y acuerdos institucionales

---

El éxito de la elaboración y de la aplicación de las políticas, estrategias y metodologías de gestión de las aguas subterráneas depende en gran medida de aspectos institucionales. Estos incluyen la organización, estructura, acuerdos de cooperación y responsabilidades de las instituciones y organizaciones implicadas. En la gestión de aguas subterráneas transfronterizas, la cooperación está sujeta a las disposiciones del Convenio, que estipula que, al decidir los acuerdos institucionales específicos, deben tenerse en cuenta las condiciones socioeconómicas de los países ribereños.

### 8.1 Planes de acción y programas concertados

Las Partes ribereñas deben ponerse de acuerdo sobre metas de gestión cuantificadas. Estas metas deben formar parte de un plan de acción o programa concertado que cubra también otras medidas destinadas a lograr una gestión de las aguas subterráneas ecológicamente sostenible y racional, preservando los recursos de agua subterránea y protegiendo el medio ambiente. Este plan de acción o programa debería incluir disposiciones sobre asistencia mutua, cuando sea necesaria, y estar sometido a aprobación a nivel ministerial o de alto rango administrativo.

El plan de acción o programa puede derivarse de planes o programas nacionales ya existentes o fijar las condiciones previas para el establecimiento de estos planes o programas nacionales.

El plan de acción concertado tiene que incluir al menos aspectos como:

- (a) Usos del suelo y del agua subterránea, teniendo en cuenta que deben imponerse restricciones y, en algunos casos, incluso prohibiciones, al uso del suelo para la minería y las industrias de transformación, las prácticas de agricultura intensiva, incluido el uso de fertilizantes y pesticidas, los residuos sólidos y los productos químicos peligrosos.
- (b) Criterios de división en zonas, teniendo en cuenta que estos criterios dependen de la calidad ambiental y de la importancia de los acuíferos subyacentes.
- (c) Zonas de protección, teniendo en cuenta que éstas deben ayudar a evitar la contaminación de las aguas subterráneas en las áreas presentes y futuras de explotación de agua subterránea para abastecimiento de agua potable. Deben tomarse las medidas necesarias para minimizar la contaminación accidental de fuentes no puntuales en zonas de protección.
- (d) Actividades económicas, prestando especial atención al impacto transfronterizo de la actividad humana sobre la calidad y la cantidad de las aguas subterráneas. Actualmente, existen pocos ejemplos de coordinación eficaz entre la gestión transfronteriza del suelo y la planificación de la protección del agua subterránea. Para lograr este objetivo, se necesita intercambiar la información necesaria y establecer una cooperación bilateral y multilateral. El establecimiento de programas eficaces y armonizados de seguimiento debería ser un instrumento eficaz para coordinar estas actividades.
- (e) Contaminación de las aguas subterráneas, teniendo en cuenta que los vertidos y las concentraciones de contaminantes en acuíferos transfronterizos deben ser objeto de seguimiento periódico.
- (f) Extracciones de agua subterránea, teniendo en cuenta que la explotación con fines económicos debe ser acordada para asegurar la sostenibilidad del uso del recurso.
- (g) Humedales, teniendo en cuenta que el seguimiento de las aguas subterráneas debe ser exhaustivo y tener en cuenta las características cualitativas y cuantitativas de los acuíferos transfronterizos, proporcionando herramientas fiables para la gestión integrada de las aguas subterráneas. Los programas de recopilación de datos y seguimiento deben adaptarse al nivel de información necesario, que viene determinado por el objetivo fijado para la evaluación.

## 8.2 Órganos conjuntos y sus actividades

### a. Recomendaciones generales

Los gobiernos deben crear órganos conjuntos en los casos en que aún no existan, e incluir el seguimiento y la evaluación de las aguas subterráneas transfronterizas en las actividades de dichos órganos. Es menos importante si los países ribereños crean órganos conjuntos distintos para las aguas superficiales transfronterizas y para las aguas subterráneas transfronterizas, o si encomiendan a un solo órgano las actividades relacionadas con ambas. No obstante, es fundamental que, cuando los países ribereños hayan creado dos o más órganos conjuntos en la misma porción transfronteriza de la cuenca, acuerden los procedimientos y medios de coordinar las actividades de estos órganos.

Cuando sea conveniente, los países ribereños deben:

- asignar al órgano conjunto la tarea de vigilar y evaluar las aguas subterráneas transfronterizas de acuerdo con las recomendaciones de estas Directrices;
- responsabilizar al órgano conjunto de la evaluación de las medidas acordadas y de las mejoras resultantes en la gestión de las aguas subterráneas.

### Órganos conjuntos (“joint bodies”)

Según el Convenio, un órgano conjunto puede ser una comisión bilateral o multilateral u otros organismos con competencias en la cooperación entre las partes ribereñas. En general, las tareas de los órganos conjuntos incluyen lo siguiente:

- Recoger, recopilar y evaluar datos con el fin de determinar las fuentes de contaminación que puedan causar impacto transfronterizo;
- elaborar programas de seguimiento conjunto relativos a la calidad y cantidad del agua;
- realizar inventarios e intercambiar información sobre las fuentes de contaminación mencionadas anteriormente;
- establecer límites de emisión de aguas residuales y evaluar la eficacia de los programas de control;
- elaborar objetivos y criterios conjuntos en materia de calidad del agua, con el fin de prevenir, controlar y reducir el impacto transfronterizo y proponer las medidas que correspondan para mantener y, cuando sea necesario, mejorar la calidad del agua existente;
- elaborar programas de acción concertada para reducir las cargas de contaminantes procedentes tanto de fuentes puntuales –p. ej., fuentes urbanas e industriales–, como de fuentes difusas –en particular las agrarias–;
- establecer procedimientos de alerta y alarma;
- servir de foro para el intercambio de información sobre los usos del agua, existentes y previstos, y sobre instalaciones y actividades que puedan causar un impacto transfronterizo;
- fomentar la cooperación y el intercambio de información sobre la mejor tecnología disponible con arreglo a las disposiciones del artículo 13 del Convenio (intercambio de información entre las Partes Ribereñas), así como alentar la cooperación en programas de investigación científica;
- participar en la aplicación de las evaluaciones del impacto ambiental relativas a aguas transfronterizas, de conformidad con las correspondientes normas internacionales;
- cuando existan dos o más órganos conjuntos en la misma cuenca hidrográfica, éstos se esforzarán por coordinar sus actividades con el fin de reforzar la prevención, control y reducción del impacto transfronterizo en esa cuenca hidrográfica.

### b. Redacción y aplicación de los planes de acción

Cuando se estime conveniente, los países ribereños deberán confiar al órgano conjunto la redacción y supervisión del plan de acción o programa concertado que se esboza en el apartado 8.1.

Si se considera apropiado, los países ribereños deberán establecer también un grupo técnico de trabajo bajo la autoridad del órgano conjunto, que sea responsable de las investigaciones que se realizan en virtud del plan de acción para la seguimiento y la evaluación y de definir e implementar la estrategia de seguimiento y evaluación, incluidos sus aspectos técnicos, financieros y organizativos.

Las Partes ribereñas deben establecer, a través de sus respectivos órganos conjuntos, una estrecha cooperación transfronteriza entre las autoridades administrativas que se encargan de la planificación del uso del suelo, del uso racional y la protección de las aguas subterráneas y del seguimiento de las aguas subterráneas en las primeras fases del proceso de planificación y a todos los niveles de la administración. Esto ayudará a superar intereses conflictivos en la planificación sectorial, tanto en el ámbito nacional como en el ámbito transfronterizo.

Debido a las diferencias en la organización o en los procedimientos de autorizaciones, los países ribereños deben acordar conjuntamente un sistema armonizado de autorizaciones que no entre en conflicto con los sistemas existentes en la legislación nacional, o bien adaptar adecuadamente los sistemas nacionales.

#### *c. Acceso a la información*

A través de sus órganos conjuntos, los países ribereños deben proporcionarse mutuamente acceso a la información relevante sobre calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas. Esto debería incluir, por ejemplo, información sobre la calidad de las aguas superficiales cuando éstas se utilizan como recarga para su posterior uso en el suministro de agua potable.

Los países ribereños deben llegar a acuerdos a través de sus órganos conjuntos para que el público tenga acceso a la información relevante recopilada tanto por los países ribereños como por sus órganos conjuntos.

Para que sean eficaces, los acuerdos para el intercambio de información entre los países ribereños y los acuerdos para la provisión de información al público deben estar regidos por reglas acordadas por los países ribereños. Estos acuerdos deben especificar el formato y la frecuencia de los informes. También puede ser útil la creación y el mantenimiento de una base de datos común. Al redactar estos acuerdos, deben tenerse en cuenta las obligaciones existentes en virtud de otros acuerdos internacionales o leyes supranacionales, tales como las directivas de la Unión Europea, en relación con la seguimiento, la evaluación y la redacción de informes sobre calidad y cantidad de las aguas subterráneas.

#### *d. Sistema de la calidad*

Cuando sea apropiado, los países ribereños deben asignar a sus órganos conjuntos responsabilidades relacionadas con los sistemas de calidad. Hay que prestar especial atención a la armonización de las metodologías de toma de muestras y de procesamiento de datos, así como a la acreditación de los laboratorios. Debe fomentarse y promoverse la cooperación en el ámbito local para realizar prácticas de seguimiento, incluyendo contactos directos entre los laboratorios y las instituciones implicadas.

### **8.3 Otros acuerdos de ámbito nacional o local**

#### *a. Acuerdos institucionales, legales o administrativos*

La falta de acuerdos institucionales, legales o administrativos apropiados de ámbito nacional y local puede dificultar considerablemente la cooperación internacional. Tales acuerdos incluyen la cooperación entre gobiernos locales, las competencias y la propiedad sobre el agua subterránea, legislación y reglamentos - p. ej., autorizaciones de captación, zonas de protección-, la coordinación del seguimiento de la calidad y la cantidad por diferentes instituciones nacionales y la designación de un laboratorio nacional de referencia.

Los países ribereños deben adaptar los acuerdos existentes a las obligaciones impuestas por el Convenio y redactar nuevos acuerdos para establecer y mantener programas de seguimiento armonizados o conjuntos en los acuíferos transfronterizos. Estos programas deben utilizar procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio normalizados.

*b. Acuerdos financieros*

Las Partes ribereñas deben proporcionar suficiente financiación para la realización de actividades de seguimiento y evaluación y para efectuar investigaciones conjuntas dentro del marco del Convenio. Esta financiación puede ser parte del presupuesto ordinario. Cada país debe encargarse de sus propios requisitos. La financiación puede basarse, por ejemplo, en tasas o derechos de contaminación. La creación de un fondo ambiental, del cual las empresas puedan tomar dinero prestado para realizar inversiones, puede acelerar las mejoras. Otras posibilidades de financiación pueden consistir en ayudas de la UE - TACIS, PHARE- o de otros fondos -GEF, Banco Mundial-. Generalmente, se recomienda presentar propuestas conjuntas, ya que éstas son aceptadas más fácilmente por las instituciones implicadas.

# Referencias bibliográficas

---

El Grupo Básico ("Core Group") redactó **informes preliminares** que han servido de base para estas Directrices. Éstos incluyen:

- Inventario de aguas subterráneas transfronterizas;
- Enfoque orientado a los problemas y el uso de indicadores;
- Aplicación de modelos;
- Situación del seguimiento y evaluación de aguas subterráneas

Como parte del proyecto de Directrices fueron descritos dos **casos prácticos** (*documentos disponibles a solicitud de los interesados*):

- Aelmans, F., 1997. Digital Waterway Vechte
- De Louw, P.G.B. y R.J. Stuurman, 1997. Cross-border (ground)water; Water system optimisation of the Merkske catchment area at the Dutch-Belgian Border.

Se consultaron asimismo los siguientes **trabajos de carácter general** sobre seguimiento y evaluación:

- OMS, 1992, Guía Operativa GEMS/AGUA. Tercera edición. GEMS/W.92.1 OMS, PNUMA, UNESCO, OMM.
- OMM, 1994. Guía de prácticas hidrológicas. Quinta edición. OMM No. 168. Ginebra.
- OMM, 1996. Reglamento técnico. Volumen III, Hidrología, OMM No. 49. Ginebra.
- UN/ECE, 1989. Charter on groundwater management. ECE/ENVWA/12. Nueva York.
- UN/ECE, 1992. Convenio para la protección y uso de aguas transfronterizas y lagos internacionales.
- UN/ECE, 1993. Protection of Water Resources and Aquatic Ecosystems, Water series No. 1. ECE/ENVWA/31, Nueva York.
- UN/ECE, 1995. Protection and sustainable use of waters - recommendations to ECE Governments. Water series No. 2. ECE/CEP/10. Nueva York y Ginebra.
- UN/ECE, 1996. Protection of transboundary waters. Guidance for policy and decision-making. Water series No. 3. ECE/CEP/11. Nueva York y Ginebra.
- UNESCO, 1992. Glosario Hidrológico Internacional.
- UNESCO-PNUD, 1983. Hydrological principles of groundwater protection. Handbook of scientific methods, vol. 1.
- Chapman, D. (Ed.), 1992. Water quality assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. UNESCO, OMS, PNUD.
- ISO 5667-11:1993, Water Quality Part 11: Guidance on sampling of groundwaters
- ISO standards handbook 16, 1983.
- ISO standards compendium, 1994. Environment, water quality, first edition.
- ISO guide 9000 Quality management and quality assurance standards 1994.  
Part 1 : Guidelines for the selection and use  
Part 2 : General Guidelines for the application of ISO 9001, 9002 and 9003  
9001 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing



9002 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in production and installation  
9003 : 1987 Quality systems - Model for quality assurance in final inspection and test.

- EN 45001: 1989 General criteria for the operation of testing laboratories.
- EN 45002: 1989 General criteria for the assessment of testing laboratories.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 1989, Water resources management. Integrated policies, París, 199 págs.
- Naciones Unidas, 1991. Groundwater in Western and Central Europe. Natural Resources Water Series no. 27, ST/TCD/12, UN Dept. of Techn. Cooperation for Development, Nueva York, 363 págs.

Como referencias de interés particular deben mencionarse las **publicaciones de dos talleres monográficos** sobre seguimiento de las aguas:

- Adriaanse, M., J. van de Kraats, P.G. Stoks, y R.C. Ward (Eds.), 1995. Proceedings, Monitoring Tailor-made, an international workshop on monitoring and assessment in water management. 20-23 de septiembre de 1994. Beekbergen, Países Bajos
- Ottens, J.J., F.A.M. Claessen, P.G. Stoks, J.G. Timmerman, R.C. Ward (Eds.). Proceedings of Monitoring Tailor-made II, an international workshop on information strategies in water management, Septiembre 1996, Nunspeet, Países Bajos.

#### **Otras publicaciones:**

- Chilton, P.J. y C.J. Milne, 1994. Groundwater quality assessment: A national strategy for the NRA. Technical report WD/94/40C.
- Chilton, P.J. y S.S.D. Foster, 1997. Monitoring for groundwater quality assessment: current constraints and future strategies. British Geological Survey. Proceedings of the international workshop Monitoring Tailor-made II, Septiembre 1996, Nunspeet, Países Bajos.
- Domenico, P.A. y F.W. Schwartz, Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, Inc, Nueva York, 1990.
- Edmunds, W.M., 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: Geo-indicators, assessing rapid environmental change on earth systems. Balkema, A.A., Rotterdam, Países Bajos.
- AEMA, 1998. EUROWATERNET. La Red de Información y Seguimiento de las Aguas de la Agencia Europea del Medio Ambiente. Technical Guidelines for Implementation. Technical Report no. 7.
- AEMA, 1999. Groundwater quality and quantity in Europe.  
- Environment assessment report, no. 3. ISBN 92 9167 146  
- Data and basic information. Technical report, no. 22.
- EIW, Preparation of a Network on Monitoring, Final Discussion Report on groundwater monitoring related to the proposed EC Groundwater Action programme; Instituto Europeo para el Agua (EIW), París/Bruselas, 1992.
- EurAqua, 1995. Proceedings: Optimizing Freshwater Data Monitoring Networks including Links with Modelling. Second technical review. Red Europea de Organizaciones de Investigación del Agua Dulce (EurAqua). París, La Defense, 18-20 de octubre, 1995.
- AICH Press, 1991. Hydrological interaction between atmosphere, soil and vegetation. Institute of Hydrology, Wallingford, Publicación AICH No. 204, 1991.
- AICH Press, 1996. Models for assessing and monitoring groundwater quality. Institute of Hydrology, Wallingford, Publicación AICH No. 227, 1996.

- Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality, 1995, Final report of the Intergovernmental task force on monitoring water quality.
- Jousma, G. and J.W. Willems, 1996. Groundwater monitoring networks. European Water Pollution Control, Vol. 6, no. 5, 1996.
- Loaiciga, H.A. et al., 1992. Review of groundwater quality monitoring net work design. ASCE Task Force Committee on Groundwater Monitoring Network Design. Journal of Hydraulic Engineering, 118(1): 11-37.
- Miller, D.W., 1981. Guidelines for developing a state-wide groundwater monitoring programme. Ground Water Management Research (GWMR) 32-33.
- Nyer, E.K. y L. Stauss, 1997. Monitoring Plans. Ground Water Management Research (GWMR), 67-70.
- REGIS, REgional Geohydrological Information System, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO Folleto nr. 5.02, Junio de 1998.
- Uil, H., R. Mulder, W. van der Linden y F. Aelmans, 1999. Digital Waterway Vechte, Set up and implementation of a transboundary geohydrological information system between Germany and Netherlands for the catchment of the river Vechte. International Conference On Quality, Management and Availability of Data for Hydrology and Water Resources Management, Koblenz, República Federal de Alemania, 22-26 de marzo de 1999.
- U.S. Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality, 1995. The strategy for improving water-quality monitoring in the United States. Informe final, febrero de 1995.
- Van Bracht M.J., H.P. Broers, J.H. Hoogendoorn, W. van der Linden y F. Waardenburg, 1993. REGIS/Digital Groundwater Map; Construction of a Visualization and Manipulation Tool for Groundwater Related Problems on a Regional Scale. HydroGIS 93 conference, UNESCO/AICH.
- Van der Heijde, P.K.M., A.I. El-Kadi y S.A. Williams, 1998. Groundwater modelling: An overview and State report, CR-812603, GWS, Indianapolis, Indiana 42208, USA.

**Series de mapas:**

- UNESCO: Geological World Atlas UNESCO, 1976
- UNESCO: Atlas of World Water Balance, 1 : 20,000,000 UNESCO, 1974-1977
- Mapas de vegetación del Consejo de Europa, 1: 3.000.000 Consejo de Europa, 1979
- Soil map of the European Communities, 1:1.000.000 (Tavernier et al. 1985.) – Comisión de las Comunidades Europeas
- Mapas de uso del suelo en Europa, 1:2.500.000 (fuente desconocida)
- The international Geological Map of Europe, 1:1.500.000 UNESCO, 1974-
- The international hydrogeological map of Europe, 1:1.500.000 UNESCO, 1970-
- the international Quaternary map of Europe, 1:2.500.000 UNESCO, 1967
- Mapas de recursos de aguas subterráneas en la CE en 38 hojas, 1:1.000.000 Comunidades Europeas, 1992
- AEMA, Monograph on groundwater quality and quantity in Europe, Agencia Europea del Medio Ambiente, julio de 1998.



# Glosario de términos

---

- **acuicludo**

Formación geológica con una permeabilidad muy baja con respecto a las formaciones circundantes.

- **acuífero** *sin.* Embalse de agua subterránea

Formación permeable capaz de almacenar y transmitir cantidades aprovechables de agua.

- **acuitardo**

Formación geológica con una permeabilidad relativamente baja con respecto a las formaciones circundantes.

- **área de descarga**

Zona en la que el agua subterránea sale del acuífero por manantiales, ciénagas o constituye el caudal de base hacia cursos de agua o hacia el mar.

- **agua subterránea**

Todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del terreno, en la zona de saturación y en contacto directo con el terreno o el subsuelo (definición del Protocolo sobre Agua y Salud).

- **indicadores**

Fragmentos de información que a) forman parte de un proceso específico de gestión y pueden ser comparados con los objetivos de ese proceso de gestión y b) tienen atribuido un significado más allá de su valor a primera vista. Los indicadores siempre se corresponden con un punto de vista específico y sirven a un uso específico comunitario. Esto los hace diferentes de las estadísticas con fines generales.

- **área de alimentación** *sin.* Área de recarga

Zona en la cual el agua se filtra desde la superficie hasta la zona de saturación.

- **aspecto o cuestión**

Problema ambiental generalmente identificado y contenido en la agenda política. A menudo, es objeto de una política específica para tratarlo, que incluye: investigación, encuestas, seguimiento y medidas.

- **órganos conjuntos**

Órganos creados por las Partes ribereñas de conformidad con el Convenio, para coordinar la ejecución de disposiciones relevantes del mismo, tales como metas incluidas en un plan estratégico de acción o en los acuerdos bilaterales o multilaterales aplicables.

- **área de recarga** *sin.* área de alimentación

- **aguas subterráneas transfronterizas**

Todas las aguas subterráneas que atraviesan o se encuentran situadas en las fronteras entre dos o más Estados.

- **impacto transfronterizo (en caso de acuíferos transfronterizos)**

Cualquier efecto adverso importante que una modificación del estado de las aguas subterráneas transfronterizas causada por una actividad humana, cuyo origen físico esté situado total o parcialmente en una zona bajo jurisdicción de una Parte, pueda producir sobre el medio ambiente en una zona bajo jurisdicción de otra Parte. Entre los efectos sobre el medio ambiente figuran los que afectan a la salud y seguridad humanas, la flora, la fauna, el suelo, el agua, el clima, el paisaje y los monumentos históricos u otras estructuras físicas, o a la interacción entre dichos factores; también comprenden los efectos sobre el patrimonio cultural o las condiciones socioeconómicas derivadas de las alteraciones de dichos factores.

.....  
Nota:

Pueden encontrarse más definiciones relacionadas con las aguas subterráneas, por ejemplo en el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO (Véase también "Referencias bibliográficas").



# Anexo. Indicadores de uso internacional

**Tabla a.**

Posibles indicadores de cambio ambiental rápido en sistemas de agua subterránea, desarrollados en Gran Bretaña (Edmunds, 1996)

aspecto/problema	indicadores		
	indicadores primarios	indicadores secundarios	
deseccación	nivel del agua	zona saturada	zona no saturada
agua subterránea		caudal de un manantial	
acidificación	nivel del agua OD	índice del agua variación de almacenamiento	
salinización	NO <sub>3</sub>	Al, Ca	Al, Ca
contaminación vinculada a plaguicidas agrícolas	DOC pH	Mg/Cl, Br <sup>-</sup> , δ <sup>18</sup> O (TSD, SEC) δ <sup>2</sup> H	Mg/Cl, Br <sup>-</sup> , δ <sup>18</sup> O (TSD, SEC) δ <sup>2</sup> H
contaminación industrial	CO <sub>3</sub> H DOC Cl	K, Na, PO <sub>4</sub> , plaguicidas	K, Na, PO <sub>4</sub> , plaguicidas
contaminación radioactiva		B, PO <sub>4</sub> , disolventes, metales	
situación redox del acuífero	HCO <sub>3</sub> DOC	<sup>3</sup> H, <sup>36</sup> Cl, <sup>85</sup> Kr	<sup>3</sup> H, <sup>36</sup> Cl, <sup>85</sup> Kr
deforestación	NO <sub>3</sub> Cl	Eh, Fe(II), HS	
agotamiento aguas antiguas		Cl	Cl
sobreexplotación		δ <sup>18</sup> O δ <sup>2</sup> H <sup>14</sup> C	δ <sup>18</sup> O δ <sup>2</sup> H <sup>14</sup> C
cambio climático		δ <sup>18</sup> O δ <sup>2</sup> H	
contaminación por minería	pH SO <sub>4</sub>	metales	

**Tabla b.**

Indicadores usados por la US EPA Office of Water, 1995

aspecto/problema	función	indicador
deterioro del agua potable	suministro agua potable	número de fuentes protegidas número de casos de enfermedades transmitidas por el agua niveles de plomo en la sangre de los niños violaciones de la normativa de agua potable % de agua que cumple la normativa
deseccación descenso de la superficie piezométrica	ecosistema  riego agrícola  transformación industrial	especies en riesgo integridad biológica del agua  superficie de humedales 50% de los pozos de agua subterránea cubren el uso pretendido  50% de los pozos de agua subterránea cubren el uso pretendido
contaminación difusa	suministro de agua potable ecosistema riego agrícola transformación industrial	% reducción de la erosión de tierras agrarias
contaminación de fuente puntual	suministro agua potable ecosistema riego agrícola transformación industrial	reducción de vertidos contaminantes

**Tabla c.**

Ejemplos de indicadores PSIR para usos diferentes (OCDE, 1993 y 1994; Knoop, 1994; Buijs y Dogterom, 1995; Bakkes et al., 1994; US EPA, 1993 y 1995; Krol, 1994; RIKZ, 1995)

Indicadores PSIR

aspecto/problema	presión	situación	impacto	respuesta
exceso de nutrientes	uso de fertilizante (N,P) aportes de N y P al agua subterránea concentración ganadera método agrícola tipo de cultivo	DBO, DO, N, P en el agua % de m <sup>3</sup> de agua que no cumple la normativa para agua potable	efectos en el ecosistema cambio de vegetación deterioro del suelo salinización	coste de depuración para el uso designado
acidificación	depósito de sustancias acidificantes métodos agrarios	pH, SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en precipitación	efectos en el ecosistema cambio de vegetación	coste de los programas de reducción de la contaminación del aire
salinización	descarga al agua tipo de cultivo uso agrario (riego) uso industrial del agua uso doméstico del agua gestión del agua clima cobertura vegetal	calidad del agua (sales) concentración de Cl <sup>-</sup>	pérdida de cosechas deterioro de la calidad del agua potable	recarga artificial coste del agua potable control de las extracciones uso más eficaz del agua acuerdos sobre agua
dispersión de metales pesados		concentración de metales pesados	niveles de Pb en la sangre	
cambio hidrológico/desección	desección	duración de la estación seca temperatura del agua contenido de sal volumen de agua (m <sup>3</sup> ) en acuíferos poco profundos	deterioro/pérdida de ecosistemas húmedos	aumento del coste del agua potable
residuos	producción de: residuos domésticos, industriales, nucleares, otros residuos peligrosos	número de vertederos cantidad de residuos	filtración al agua subterránea	medidas para disminuir la producción de residuos Impuestos sobre reciclado de residuos
dispersión de otras sustancias peligrosas	producción/transporte/uso/almacenamiento de sustancias peligrosas	concentración de sustancias peligrosas	número de enfermedades transmitidas por el agua número de casos que exceden los límites para el agua potable	% de fuentes de agua potable con programas de protección