

ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Actividad 10:
Apoyo a la implementación de la Directiva de
protección de aguas subterráneas.
Determinación de tendencias y de puntos de
partida para la inversión de tendencias

Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Instituto Geológico
y Minero de España

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

ACUERDO PARA LA ENCOMIENDA DE GESTIÓN POR EL
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA), AL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
(IGME), DEL MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN,
PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS
DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN
DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTIVIDAD 10:

APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIRECTIVA DE
PROTECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. DETERMINACIÓN
DE TENDENCIAS Y DE PUNTOS DE PARTIDA PARA LA
INVERSIÓN DE TENDENCIAS

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL

En septiembre de 2007, la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) del Ministerio de Ciencia e Innovación, suscriben un Acuerdo de Encomienda de Gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Aguas, en la Directiva Marco del Agua (DMA) (Directiva 60/2000/CEE) y en la Directiva 2006/118 sobre protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

Los trabajos incluidos en este Acuerdo se materializan en 14 actividades, de las cuales, la Actividad 10: “Apoyo a la implementación de la Directiva de protección de aguas subterráneas. Determinación de tendencias y de puntos de partida para la inversión de tendencias”, constituye el objeto a desarrollar en este estudio.

EQUIPO DE TRABAJO

Instituto Geológico y Minero de España:

Responsable de la actividad

Juan Antonio Luque Espinar

Equipo de trabajo y de redacción del estudio

Juan Grima Olmedo

Jorge Jiménez Sánchez

María Cristina Jiménez Escamilla

Luis Miguel Hueso Quesada

María Dolores Gómez-Escalonilla Sánchez

Dirección General del Agua:

Supervisión

Manuel Varela Sánchez

Isaac Sánchez Navarro

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. NORMATIVA	2
3. PROCEDIMIENTO PROPUESTO.....	5
4. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PROPUESTO.....	8
5. EVALUACIÓN DE TENDENCIAS EN LA D.H. MIÑO-SIL.....	13
5.1. MASA DE AGUA 011.003 CUENCA DEL SIL	14
5.2. MASA DE AGUA 011.005 ALUVIAL DEL BAJO MIÑO	18
6. CONSIDERACIONES FINALES.....	20
7. REFERENCIAS	22

ANEXO

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de identificación de tendencias al aumento de la contaminación en las masas de agua subterránea de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil, en cumplimiento del artículo 5.2.4 de Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica y del artículo 5 del Real Decreto 1514/2009 de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

El procedimiento seguido está basado en lo establecido por la Orden ARM/2656/2008 y Real Decreto 1514/2009, que transponen lo establecido en el artículo 5 y Anexo IV de la Directiva 2006/118/CE, así como en los criterios y procedimientos descritos en el Documento Guía de la Comisión Europea nº 18 “*Guidance on Groundwater Chemical Status and Trend Assessment*”¹⁵. La versión definitiva de dicha guía ha sido remitida por la Comisión Europea en febrero de 2009. En el Anejo nº 1 se incluye la versión española de los apartados correspondientes a la identificación de tendencias, realizada por encargo de la DGA.

En esta memoria se expondrán los aspectos más relevantes de la normativa existente y a continuación algunas consideraciones de carácter metodológico relacionadas con el tratamiento de la información numérica. Seguidamente, se expone la representación gráfica de aquellos parámetros que en algún momento han superado el 75% de la norma de calidad o del valor umbral establecido, y un análisis preliminar de los mismos. Para finalizar, se detallan las referencias bibliográficas de los trabajos consultados y se incluye un anexo donde se reproducen algunos aspectos de la Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias.

Para una completar la interpretación de los resultados presentados en el presente informe, se recomienda consultar los trabajos realizados en otras actividades de la Encomienda de Gestión entre la Dirección General del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España, concretamente las actividades número 2 (Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales), número 7 (Establecimiento de indicadores de intrusión marina y cálculo de los volúmenes ambientales al mar) y número 11 (Colaboración para la aplicación, en masas en riesgo por nitratos, de herramientas de análisis de presiones e impactos).

¹⁵ Traducida al castellano con el título “Documento Guía Nº. 18 Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias”

2. NORMATIVA

En el presente documento se analiza la información recopilada por la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil y la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en estaciones de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, con objeto de identificar la existencia o no de tendencias significativas y sostenidas al aumento de la contaminación en cumplimiento del artículo 5 y Anexo IV del Real Decreto 1514/2009.

El Artículo 5 del Real Decreto 1514/2009 relativo a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, establece los criterios para la determinación de las tendencias significativas y sostenidas al aumento de las concentraciones de contaminantes, grupos de contaminantes o indicadores de contaminación, y definición de los puntos de partida de las inversiones de tendencia.

Asimismo, el anexo IV del Real Decreto 1514/2009 establece lo siguiente:

“PARTE A: DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO

Los órganos competentes determinarán las tendencias significativas y sostenidas al aumento de las concentraciones de los contaminantes en todas las masas o grupos de masas de agua subterránea caracterizadas en riesgo, aplicando los siguientes criterios:

1. De conformidad con la parte B del anexo III de este real decreto, el programa de seguimiento deberá concebirse de forma tal que detecte las tendencias significativas y sostenidas al aumento de las concentraciones de los contaminantes que se hubieran determinado con arreglo al artículo 3 del presente real decreto..

*2. El **procedimiento** de determinación de la aparición de tendencias significativas y sostenidas al aumento se llevará a cabo de la siguiente forma:*

*a) se elegirán **frecuencias y puntos de control** que sean **suficientes** para:*

Proporcionar la información necesaria para garantizar que dichas tendencias al aumento puedan distinguirse de las variaciones naturales con un nivel adecuado de fiabilidad y precisión;

Permitir que dichas tendencias al aumento se determinen con tiempo suficiente para que puedan aplicarse medidas con objeto de impedir, o cuando menos mitigar en la medida de lo posible, cambios adversos en la calidad del agua que sean significativos para el medio ambiente. Esta determinación se llevará a cabo en la medida de lo posible, y teniendo en cuenta los datos existentes, por primera vez en 2009 mediante la revisión de los planes hidrológicos de cuenca

Tener en cuenta las características temporales, físicas y químicas, de la masa de agua subterránea, incluidas las condiciones de flujo y los índices de recarga del agua subterránea, así como el tiempo que ésta tarda en atravesar el suelo o el subsuelo;

b) **se utilizarán métodos de control y análisis acordes con los principios internacionales** de control de la calidad, entre ellos, si procede, las normas CEN u otros métodos normalizados, para garantizar que se proporcionen datos de calidad científica equivalente;

c) la evaluación **se basará en un método estadístico, como el análisis de regresión**, para analizar las tendencias en series temporales en estaciones de control concretas;

d) con el fin de evitar sesgos en la determinación de las tendencias, **todas las mediciones por debajo del límite de cuantificación se cifrarán en la mitad del valor del límite de cuantificación más alto registrado durante el período, con excepción de la totalidad de los plaguicidas.**

3. Para la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento en las concentraciones de sustancias en las masas de agua subterránea, de origen natural o como resultado de la actividad humana, **se tendrán en cuenta los niveles básicos y, cuando se disponga de ellos, los datos recogidos con anterioridad al comienzo del programa de control, con objeto de informar acerca de la determinación de tendencias en el primer plan hidrológico de cuenca que se apruebe o revise.**

PARTE B: PUNTO DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIA

De conformidad con lo establecido en el artículo 5 de este real decreto, los órganos competentes invertirán las tendencias significativas y sostenidas al aumento teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. El **punto de partida** para aplicar medidas destinadas a invertir tendencias significativas y sostenidas al aumento será el momento en el cual la concentración del contaminante alcance el **75% de los valores paramétricos de las normas de calidad** de las aguas subterráneas establecidas en el anexo I y de los valores umbral establecidos con arreglo al artículo 3, **a menos que concurra alguna de las siguientes circunstancias:**

a) Que sea necesario un punto de partida anterior para hacer posible que las medidas de inversión impidan del modo más rentable, o al menos mitiguen en la medida de lo posible, cualquier cambio adverso significativo en la calidad del agua subterránea.;

b) Que se justifique un punto de partida distinto si el límite de detección no permite establecer la presencia de una tendencia cifrada en el 75% de los valores paramétricos.

c) Que la tasa de aumento y la reversibilidad de la tendencia sean tales que, de tomarse un punto de partida posterior para aplicar medidas de inversión de la tendencia, éste seguiría haciendo posible que dichas medidas impidan del modo más rentable, o al menos mitiguen en la medida de lo posible, cualquier cambio adverso significativo desde el punto de vista medioambiental en la calidad del agua subterránea. Este punto de partida posterior no podrá suponer retraso alguno en el cumplimiento de los plazos para el logro de los objetivos medioambientales.

Para las actividades incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los

nitratos procedentes de fuentes agrarias, el punto de partida para la aplicación de medidas para invertir tendencias significativas y sostenidas se establecerá de conformidad con dicho real decreto, en particular la adhesión a los objetivos medioambientales de protección de las aguas establecidos en los artículos 92 y 92 bis del texto refundido de la Ley de Aguas.

2. Una vez establecido un punto de partida para una masa de agua subterránea en riesgo, de conformidad con el apartado 1 anterior, aquél no se modificará durante el ciclo de seis años al que queda sometida la revisión de los planes hidrológicos.”

3. Deberán demostrarse las inversiones de las tendencias, teniendo en cuenta las disposiciones pertinentes de seguimiento que contiene el apartado 2 de la parte A de este anexo.

3. PROCEDIMIENTO PROPUESTO

La identificación de tendencias se realizará para masas de agua subterránea identificadas en riesgo (químico) y para los parámetros para los cuales se haya establecido valor umbral y contribuyan a que la masa de agua esté en riesgo, además de para nitratos, plaguicidas individuales detectados y suma de dichos plaguicidas.

Tal y como establece la **parte A del Anexo IV del Real Decreto 1514/2009**, ***“la evaluación de tendencias se basará en un modelo estadístico, como el análisis de regresión, para analizar las tendencias en series temporales en estaciones de control concretas.”***.

De acuerdo con la parte B.1 del Anexo III del Real Decreto 1514/2009, uno de los objetivos de la red de control de vigilancia es facilitar información para su utilización en la evaluación de tendencias prolongadas como consecuencia de modificaciones de las condiciones naturales y de la actividad humana.

Asimismo, conforme a la parte B.2 del Anexo III de dicho Real Decreto, la determinación de la tendencia prolongada al aumento de la concentración de cualquier contaminante inducida antropogénicamente, debe realizarse a partir de los resultados obtenidos en las estaciones de seguimiento del estado químico pertenecientes a la red de control operativo.

Por lo tanto, en la evaluación de tendencias se tendrán en cuenta los datos de todas las estaciones de la red de control de vigilancia y/o de control operativo definidas en cumplimiento del artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE correspondientes a los años 2007-2008 (niveles básicos) y de los años anteriores cuando se disponga de ellos.

Tanto el Real Decreto 1514/2009 como la Orden ARM/2656/2008 establecen que para evitar sesgos, “todas las mediciones por debajo del límite de cuantificación se cifrarán en la mitad del valor del límite de cuantificación (LC) más alto registrado durante el período, con excepción de los plaguicidas totales”. En los gráficos de evolución, se resaltarán los valores inferiores al LC.

Además, deberá realizarse un análisis en cada estación y para cada parámetro estudiado, de la evolución en el tiempo de los límites de cuantificación, su relación con la norma de calidad o valor umbral y su efecto en el análisis de tendencia, con el objeto de evitar un análisis de tendencias sesgado provocado por un LC muy alto.

En el apartado 2.4.2 de la guía “Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias” se señala que si en una serie temporal la proporción de valores inferiores al LC es elevada, se puede producir un sesgo importante en la evaluación, y en esta situación no debería llevarse a cabo el test de tendencia si se considera que la influencia de los valores por debajo del LC es demasiado significativa.

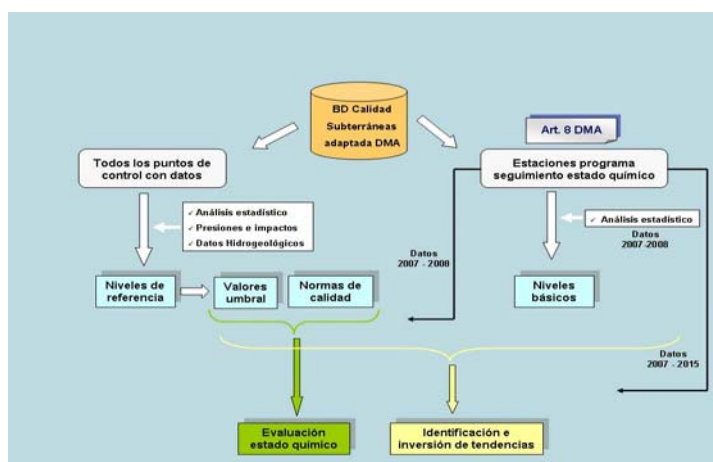
En esta guía también sugiere que si las series temporales son suficientemente extensas, los Estados miembros deberían decidir si suprimen los datos antiguos -datos consecutivos antiguos y no mediciones separadas dentro de la serie temporal- que

presenten LC elevados. Esto garantizaría que se sustituyera por los LC/2 más altos un número inferior de datos medidos, para no perder de este modo información valiosa.

En definitiva, deberá evaluarse, para cada estación y para cada parámetro estudiado, la oportunidad de utilizar los valores por debajo del LC en el análisis de tendencias y tener en cuenta su posible efecto en el mismo.

En la práctica, la duración de las series temporales disponibles en las estaciones de seguimiento del estado químico va a ser muy variable, pero en principio se realizará el análisis con todos los datos disponibles en cada estación, teniendo en cuenta esta variabilidad en la evaluación global de las tendencias a nivel de masa de agua subterránea. En los gráficos que se generen, se resaltarán con un sombreado los resultados correspondientes al periodo 2007-2008.

Sin embargo hay que tener en cuenta que en muchas ocasiones no hay serie de datos que permita realizar un análisis estadístico con un grado de confianza suficiente. En este sentido, deberá realizarse una evaluación caso por caso de la viabilidad de realizar un análisis estadístico con los datos disponibles, y cuando sea posible realizarlo, de su validez y representatividad.



Teniendo en cuenta los aspectos descritos anteriormente, se elaborarán los siguientes mapas y gráficos:

Mapa de localización de las estaciones utilizadas en la determinación de tendencias.

Se representará la distribución geográfica de las estaciones utilizadas en la determinación de tendencias (estaciones de la red de control de vigilancia y/o de control operativo definidas en cumplimiento del artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE).

Gráficos de tendencias para cada parámetro (contaminantes, grupos de contaminantes o indicadores de contaminación detectada).

Se elaborarán gráficos de tendencias para cada estación, de cada contaminante, grupo de contaminante o indicador de contaminación detectado en la masa de agua subterránea para los que se han definido valor umbral y que contribuyen a que dicha

masa de agua esté en riesgo, así como para nitratos y plaguicidas individuales detectados y suma de dichos plaguicidas.

Los mapas y gráficos de tendencias en las estaciones individuales, ayudarán a evaluar si la masa de agua está sujeta a una tendencia significativa y sostenida al aumento de la concentración de cualquier contaminante. La agregación a nivel de masa de agua deberá llevarse a cabo teniendo en cuenta el modelo conceptual de la masa de agua (distribución de presiones, funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua, etc.), y teniendo en cuenta las estaciones que sean representativas de los receptores para los cuales se han derivado los valores umbral. Esta agregación deberá hacerse caso por caso con la información disponible (criterio de experto).

Para los parámetros nitratos, plaguicidas individuales y suma de plaguicidas, debido a que tienen su origen en una contaminación de tipo difuso, en principio podrían agregarse los datos procedentes de todas las estaciones de seguimiento del estado químico de la masa de agua.

En el anexo I se reproducen los capítulos relevantes de la “Guía sobre estado químico de las aguas subterráneas y evolución de tendencias”.

4. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO PROPUESTO

4.1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2006/118/CE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro establece criterios de calidad en cuanto a la evaluación del estado químico de las aguas subterráneas y la identificación e inversión de las tendencias significativas y sostenidas al aumento de las concentraciones de contaminantes. Los Estados miembros deberán establecer las normas (“valores umbral”) al nivel más adecuado y deberán tener en cuenta las condiciones locales o regionales.

Uno de los ejes fundamentales sobre los que bascula la Directiva de Aguas Subterráneas es el uso sostenible del recurso, lo cual, dado el incremento constante de la demanda, plantea una serie de nuevos retos tales como la gestión efectiva y sostenible de los acuíferos, la necesidad de conseguir un buen estado ecológico de todas las aguas a finales de 2015, la depuración de las aguas residuales y el mantenimiento de la funcionalidad de los ecosistemas con respecto al suelo y al agua subterránea entre otros.

En el Anexo IV (Parte A, apartado 3) de la Directiva se fijan los niveles básicos como el punto de partida para la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento en las concentraciones de sustancias que se produzcan naturalmente y como resultado de actividades humanas. Dichos niveles básicos se definen como el valor medio medido por lo menos durante los años de referencia 2007 y 2008. Igualmente, se indica la posibilidad de utilización, cuando se disponga de ellos, de los datos recabados con anterioridad al comienzo del programa de control.

En cuanto a la metodología científica que debe ser utilizada para la determinación de tendencias en series temporales en puntos de control concretos, los únicos requerimientos de la Directiva se refieren a la necesidad de que la evaluación se base en métodos estadísticos, como el análisis de regresión, de forma que se proporcionen datos de calidad científica equivalente que puedan compararse.

Una de las primeras consideraciones a realizar de forma previa a la aplicación de métodos estandarizados (como el análisis de regresión) es la influencia de la cantidad de información existente sobre el diseño de sistemas de toma de decisión referentes al estado químico de una masa de agua subterránea. En el caso de disponer de gran cantidad de información (registros históricos de datos) existe el riesgo de analizar series temporales en las que se haya producido más de una tendencia. En ese caso los resultados podrían verse afectados de forma significativa, por ejemplo, por los primeros años de la serie, lo cual entraría en contradicción con las disposiciones de la Directiva anteriormente citadas, mientras que en el caso de utilizar series demasiado cortas la potencia de las pruebas estadísticas para el análisis de tendencias podría verse seriamente comprometida.

4.2. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

El objetivo fundamental consiste en el diseño y desarrollo de un procedimiento que sirva para la toma de decisiones sobre la clasificación del estado químico de una masa de agua subterránea y la existencia en la misma de incrementos significativos en la concentración de un parámetro químico determinado.

Dada la subjetividad del término “significativo”, y con objeto de dotar al método de una base científica sólida, se aplicarán metodologías estadísticas basadas en contrastes

de hipótesis, mediante los cuales se definirán de forma previa los incrementos estadísticamente significativos.

El resultado de un contraste estadístico de hipótesis puede implicar la clasificación de una masa de agua subterránea como en mal estado químico desde el punto de vista de la Directiva de Aguas Subterráneas.

Por ello es conveniente conocer el significado de las pruebas que se realicen sobre los datos. Los dos resultados de interés en el análisis de una masa de agua subterránea son tanto el empeoramiento significativo de la calidad de la masa como la existencia de tendencias significativas al aumento (o al descenso en el caso de acciones de remediación).

Para la detección de empeoramientos significativos es necesario que se produzca un aumento en la concentración del parámetro analizado. El aumento debe ser superior a lo que podría ocurrir por azar, para lo cual es necesario conocer la variabilidad de los datos. La comparación puede realizarse tanto con valores de fondo calculados a partir de los datos como con estándares de calidad (fijados a partir de un subconjunto de los datos o establecidos por las autoridades ambientales).

Por último, dada la potencia de los métodos paramétricos en comparación con los no paramétricos se propone la utilización de gráficos de Shewhart o CUSUM para la declaración de un empeoramiento significativo una vez que se superen sus respectivos límites de control.

En el caso de que la población no siga una distribución normal, se utilizará un procedimiento de remuestreo o bootstrap para el cálculo de los límites de control.

Con objeto de aplicar cualquier análisis estadístico, incluida la regresión lineal, es necesario realizar una serie de comprobaciones, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Verificación de normalidad en la distribución de los residuos del ajuste de los datos de concentración del parámetro químico analizado. En caso contrario es necesario realizar una transformación de los mismos o bien utilizar métodos no paramétricos.
- Realizar las modificaciones necesarias en los tests de hipótesis para tomar en consideración los valores por debajo del límite de detección y/o cuantificación.
- Considerar las posibles causas de variaciones estacionales en los datos. Entre ellas se encuentran las fluctuaciones estacionales, la autocorrelación o la existencia de tendencias temporales. La eliminación de la variación estacional puede ser un requisito previo para la realización de un test de tendencia, que deberá ser realizado sobre los residuos del ajuste.

Los tests utilizados para la detección de tendencias al aumento implican generalmente la comparación de un único conjunto de datos con un valor fijado o una concentración de fondo. En cambio, cuando el objetivo del análisis es la verificación de inversión de tendencias, es necesario demostrar la existencia de una pendiente negativa en los valores de concentración.

4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

De forma previa a la realización de cualquier análisis estadístico es necesario examinar los datos con objeto de investigar la calidad de los mismos y buscar posibles estructuras o patrones sin realizar ninguna hipótesis matemática acerca de la estructura de las observaciones.

Los gráficos son una herramienta esencial para explorar y comprender pautas en cualquier conjunto de datos. La representación gráfica de los mismos proporciona información adicional a la que puede obtenerse mediante una prueba estadística formal. Por ejemplo, mediante la realización de un contraste de normalidad de Shapiro-Wilk puede concluirse que los datos no están normalmente distribuidos. Mediante la elaboración de un gráfico de probabilidad normal o de un histograma de los datos no sólo puede confirmarse esta conclusión sino que se obtiene información gráfica sobre los motivos por los cuales no puede aceptarse la hipótesis de normalidad (sesgo acusado, bimodalidad, un valor extremo aislado, etc.).

Entre las principales técnicas de análisis cabe destacar las siguientes:

Gráficos de series temporales

Se define una serie temporal como un conjunto de datos, correspondientes a la evolución de concentraciones de un determinado parámetro, ordenados en el tiempo. Los datos son de la forma (y_t, t) donde:

y_t : Variable endógena o dependiente

t : Variable exógena o independiente

Nota: realmente sólo hay una variable a estudiar que es y_t . En el análisis de regresión se analizan dos variables (se explica una variable a partir de la otra). Aquí sólo hay una variable, la cual se explica a partir de su pasado histórico.

La escala del eje vertical puede influir sobre la apreciación de las tendencias. En ese sentido, las escalas amplias pueden poner de manifiesto más fácilmente tendencias a largo plazo mientras que las escalas pequeñas enfatizan las tendencias a corto plazo.

Gráficos de caja

Este tipo de gráficos estadísticos no es más que una representación gráfica de un conjunto de datos que brinda una impresión visual de la localización, dispersión, grado y dirección del sesgo.

En el caso de una distribución que se aproxima a la forma de campana de Gauss (es decir, a la curva normal), el gráfico de caja también permite identificar los valores atípicos.

Histogramas

Es una representación visual de los datos clasificados en una serie de grupos. Proporciona una herramienta para identificar la distribución subyacente de los datos. La impresión visual obtenida depende del número de grupos seleccionado. A mayor número de grupos, mayor detalle, mientras que un número pequeño aumenta el suavizado.

En el caso de medidas por debajo del límite de detección, deben utilizarse las cantidades indicadas por el laboratorio, ya que no pueden incluirse dichas medidas en el histograma.

Técnicas de suavizado de datos

Los cambios en la calidad del agua pueden producirse de forma abrupta o bien pueden realizarse de forma gradual en el tiempo. Por ello, el examen visual de de la serie al que se añade un suavizado de los datos tipo LOESS proporciona una indicación de cambios de tendencia a corto plazo, que pueden enmascarar de alguna forma la tendencia total de la serie.

4.4. AJUSTE DE UN MODELO DE REGRESIÓN SIMPLE A LOS DATOS

Cuando se investiga el posible aumento en la concentración de un determinado contaminante en una masa de agua subterránea, es necesario estudiar la relación entre la variable independiente o predictora (tiempo) y la variable dependiente o respuesta (concentración). Dicha relación, caso de existir, puede ser de tipo lineal o no, por lo que la aplicación de técnicas de regresión lineal sin comprobaciones previas puede ser una herramienta inapropiada para su análisis.

Cuando la concentración aumenta o disminuye a medida que transcurre el tiempo, se dice que existe una relación monótona (creciente o decreciente) entre ambas variables. Existen varios procedimientos para la detección de tales correlaciones, entre los que cabe citar la Tau de Kendall. Al ser un procedimiento basado en rangos, es resistente a la existencia de valores anómalos y permite el manejo de valores por debajo del límite de detección.

En el caso de que la variable respuesta dependa linealmente de la variable predictora se dice que existe una relación lineal entre ambas variables. La medida de correlación más ampliamente empleada es la r de Pearson, para lo cual es necesario asumir que los datos siguen una distribución normal. Cuando existe correlación lineal puede iniciarse el estudio estadístico por medio de la regresión lineal. Consiste en la elaboración de un modelo de la relación entre una o más variables independientes y la variable dependiente por medio de una función de mínimos cuadrados.

Esta función es una combinación lineal de una serie de parámetros, denominados coeficientes de la regresión. El modelo es de la forma siguiente:

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots$, donde X_i son las n variables predictoras o explicativas e Y es la variable dependiente o respuesta

En el caso particular de que sólo exista una variable independiente, la ecuación de regresión lineal es una línea recta que viene determinada por los dos primeros coeficientes, β_0 y β_1 . El primero representa el punto de intersección de dicha recta con el eje de abscisas y el segundo representa la pendiente de la misma.

La estimación de los coeficientes de la regresión se realiza por el método de mínimos cuadrados, a través del cual se establecen los valores de los parámetros de la recta de regresión de la muestra, los cuales minimizan la suma de los cuadrados de los residuos.

4.5. VERIFICACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE NORMALIDAD Y REALIZACIÓN DE CONTRASTES NO PARAMÉTRICOS EN SU CASO

Una de las hipótesis de partida de la regresión lineal es que los residuos sean variables aleatorias idénticamente distribuidas, lo que en la práctica significa que es necesaria la comprobación de normalidad de los residuos de la regresión lineal, especialmente en el caso de que se realicen contrastes de hipótesis sobre la pendiente de la recta de regresión.

La mayor parte de los procedimientos de análisis estadístico asumen que las muestras aleatorias se seleccionan de poblaciones normales. Tradicionalmente estos métodos se denominan como métodos paramétricos. Los métodos no paramétricos no suponen el conocimiento de ninguna distribución. También se les llama métodos de distribución libre. Muchos de los métodos no paramétricos implican el análisis del rango de los datos por lo que no se utilizan los valores de la muestra. Cuando hay serias divergencias de la normalidad los métodos no paramétricos son más eficientes que los métodos paramétricos.

En este caso se ha seleccionado el método de Mann-Kendall para el análisis de los datos, puesto que se encuentra ampliamente aceptado por la comunidad científica.

4.6. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE VARIABLES EXÓGENAS

Como se ha comentado con anterioridad, la declaración de un impacto significativo en la calidad de una masa de agua subterránea tiene una serie de implicaciones que obligan a realizar un análisis exhaustivo de las posibles causas que pueden incidir en el análisis, tales como la precipitación o las variaciones estacionales.

Entre los principales factores que pueden influir en la habilidad para detectar incrementos significativos desde el punto de vista estadístico deben citarse los hidrológicos, geoquímicos y debidos al muestreo y análisis en laboratorio.

En el caso de los nitratos, por ejemplo, se ha comprobado un aumento en la concentración de dicho ión tras una serie de precipitaciones. En realidad el proceso es más complejo, pues tras un aumento inicial, que disuelve los nitratos se produce un descenso, debido al efecto de dilución. Para comprobar en detalle dicha evolución sería necesario hacer un test de tendencias estacional, lo que requiere medidas mensuales. Las redes disponibles rara vez proporcionan un número tan grande de medidas, siendo la frecuencia de muestreo habitual de un par de veces al año. Para aprovechar al máximo los datos existentes es posible hacer una primera distribución de los datos en función de dos periodos principales, uno seco o de aguas bajas, y otro húmedo o de aguas altas.

En la estación seleccionada los meses más habituales de muestreo son mayo y noviembre, lo que concuerda a grandes rasgos con dichos periodos de aguas altas y bajas, dado que en la cuenca mediterránea las precipitaciones más torrenciales se producen en septiembre y octubre, meses en los que los episodios de gota fría son habituales. Por tanto, el primer análisis que puede realizarse es la comparación entre los datos de concentración durante dichos periodos.

5. EVALUACIÓN DE TENDENCIAS EN LA D.H. MIÑO-SIL

A continuación se presenta la relación de masas de agua subterránea que fueron identificadas en riesgo (o en estudio) en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil, sobre las que se ha realizado la evaluación de tendencias, indicando la causa por la que se declararon en riesgo.

CODIGO	NOMBRE MASA DE AGUA	CONT. PUNTUAL	CONT. DIFUSA	INTRUSIÓN	EXTRACCIÓN
011.003	CUENCA DEL SIL				
011.004	CUBETA DEL BIERZO		X		
011.005	ALUVIAL DEL BAJO MIÑO		X		

La evaluación de tendencias se ha realizado, en estas masas de agua subterránea identificadas en riesgo, únicamente para aquellos parámetros que tienen norma de calidad establecida (nitratos, plaguicidas individuales y suma de plaguicidas), ya que no se ha establecido un valor umbral, conforme a lo establecido en la Directiva 2006/118/CEE y Real Decreto 1514/2009, para ningún parámetro que contribuya a que la masa de agua esté en riesgo.

Las normas de calidad para nitratos y plaguicidas, fijadas en el Real Decreto 1514/2009 son las siguientes:

Contaminante	Normas de calidad
Nitratos	50 mg/L
Sustancias activas de los plaguicidas, incluidos los metabolitos y los productos de degradación y reacción que sean pertinentes	0,1 µg/L (1) 0,5 µg/l (total) (2)

(1) Referido a cada sustancia

(2) Referido a la suma de todos los plaguicidas detectados y cuantificados en el procedimiento de seguimiento

Cabe mencionar que en general, los datos disponibles para estos parámetros estudiados, no hace posible realizar un análisis estadístico exhaustivo que permita determinar tendencias significativas desde el punto de vista estadístico.

Las series temporales disponibles permiten únicamente, y solamente en algunos casos, aplicar un modelo de regresión simple.

5.1. MASA DE AGUA 011.003 CUENCA DEL SIL

5.1.1. LOCALIZACIÓN

A continuación se muestran la localización de la masa de agua en el contexto de la demarcación hidrográfica (figura 1) y la situación de las estaciones de seguimiento del estado químico de la misma junto con la cobertura de usos del suelo (figura 2), representando en color rojo aquellas estaciones en las que en alguna analítica se ha superado el 75 % de la norma de calidad de algún parámetro estudiado, y en color azul el resto de estaciones.

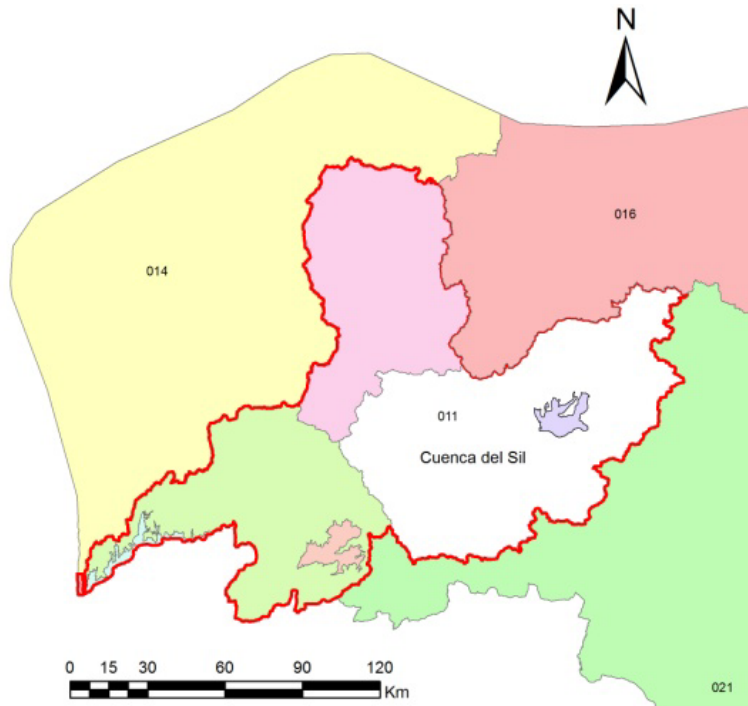


Figura 1. Localización de la masa en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil.

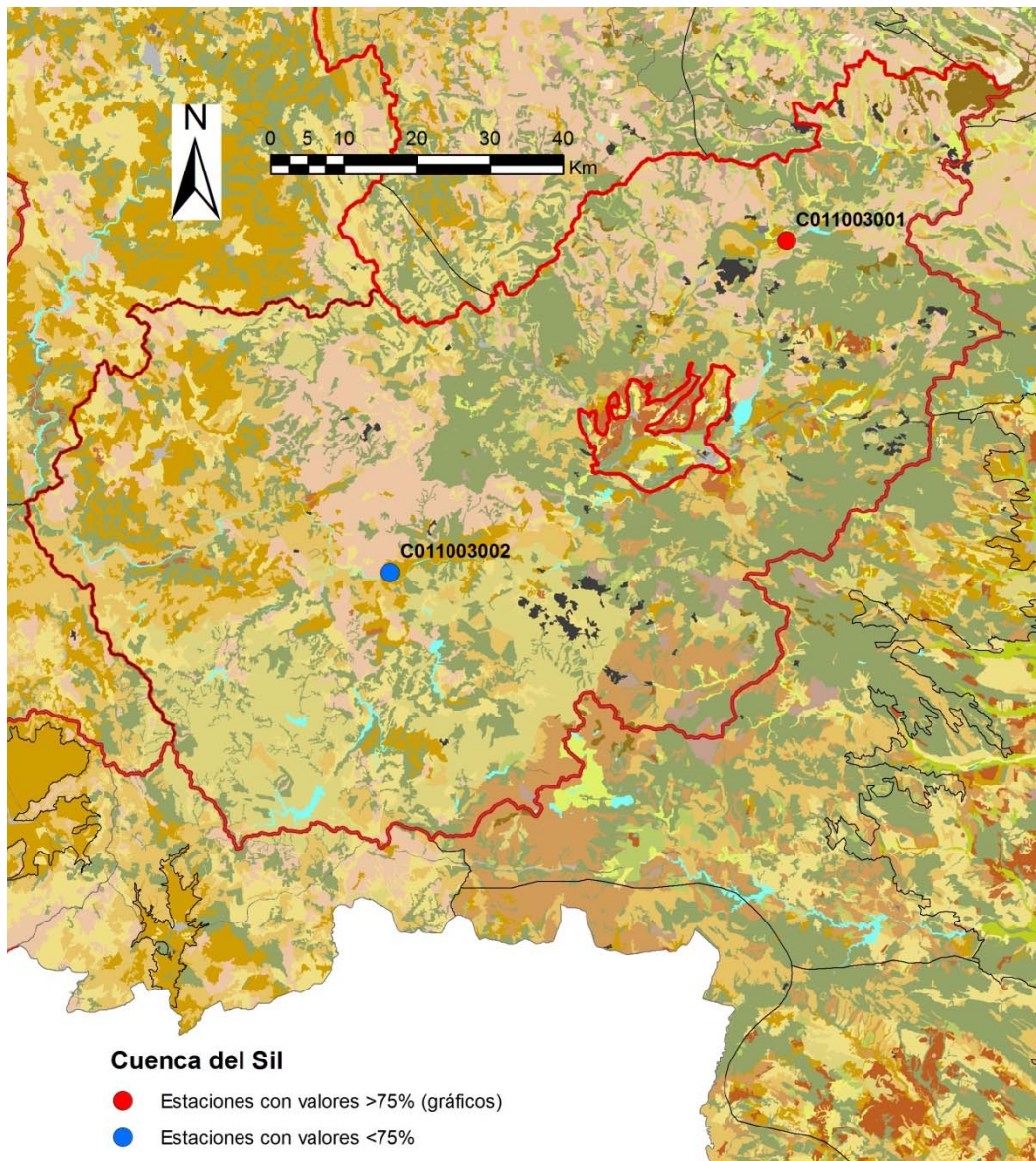


Figura 2. Localización de las estaciones de control y usos del suelo.

LEYENDA

47	Otras zonas de irrigación
166	Marismas; humedales y zonas pantanosas
	Mares y océanos
196	Lagos y lagunas; ríos; embalses
200	Glaciares y nieves permanentes
655	Otros pastizales
671	Mosaico cultivos anuales; seco
675	Matorral boscoso de bosque mixto
679	Vegetación escasa
686	Mosaico cultivos de secano con espacios de vegetación natural
691	Playas y dunas
695	Mosaico cultivos mixtos en secano y regadío
716	Mosaico cultivos regadío y vegetación natural
725	Pastizales mediterráneos y templado-oceánicos
776	Zonas quemadas
831	Tierras de labor en secano
832	Viñedos en secano
843	Arrozales
847	Landas y matorrales en climas húmedos
854	Matorrales esclerófilos mediterráneos
862	Rambias con poca o ninguna vegetación
865	Olivares en secano
872	Xeroestepa subdesértica; afloramientos rocosos
881	Olivares en regadío
882	Viñedos en regadío
886	Frutales en secano
905	Frutales en regadío
921	Cultivos herbáceos en regadío
935	Praderas
946	Zonas verdes; campos de golf; instalaciones deportivas
955	Mosaicos de prados con espacios de vegetación natural
975	Bosque mixto; coníferas, caducifolias y marcescentes
993	Zonas extracción minera; escobreras y vertederos
995	Zonas industriales; autopistas; aeropuertos
997	Tejido urbano continuo; urbanizaciones

Figura 2 (continuación). Leyenda de usos del suelo.

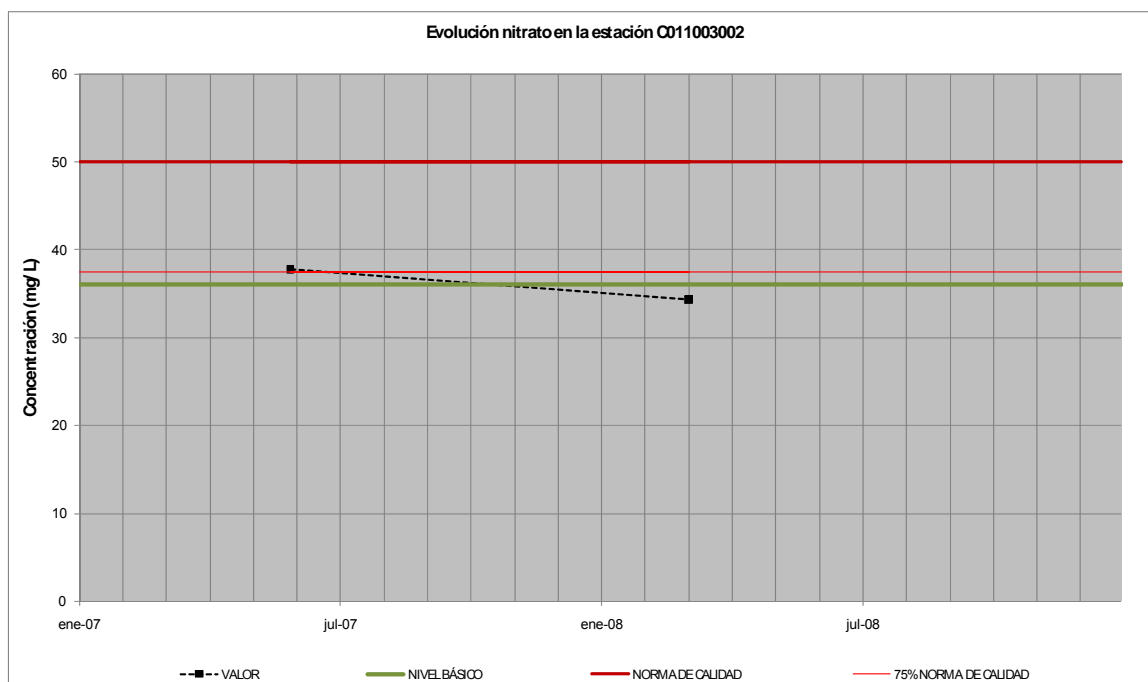
5.1.2. DATOS DISPONIBLES

Para llevar a cabo la evaluación de las tendencias en esta masa de agua subterránea, se utilizarán los datos analíticos correspondientes a dos estaciones de control de la red de seguimiento del estado químico aunque sólo se han representado gráficamente los valores de nitratos en una de ellas que supera el 75% de la norma de calidad.

5.1.3. GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN

A continuación se presentan los gráficos de evolución temporal de nitratos.

Estación C011003002



5.1.4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los valores observados se sitúan en torno al 75% de la norma de calidad, sin variaciones apreciables.

La densidad espacial de información es, en principio, insuficiente. Se debería plantear un estudio que permitiera determinar si son necesarias nuevas estaciones de control y dónde para poder llevar a cabo un análisis del comportamiento espacial de las variables.

La determinación de la tendencia de la serie es imposible de llevar a cabo desde el punto de vista estadístico debido a la escasez de información.

Dado que sólo hay dos estaciones en una masa con bastante extensión, no se puede aventurar el estado general de la masa.

Para poder realizar un análisis estadístico de la tendencia habría que reducir el periodo entre análisis y detectar la fuente de contaminación. Las muestras deberían ser semestrales y a intervalos fijos. De forma orientativa, las determinaciones deberían realizarse en marzo-abril y septiembre-octubre de cada año con objeto de detectar posibles estacionalidades.

5.2. MASA DE AGUA 011.005 ALUVIAL DEL BAJO MIÑO

5.2.1. LOCALIZACIÓN

A continuación se muestran la localización de la masa de agua en el contexto de la demarcación hidrográfica (figura 3) y la situación de las estaciones de seguimiento del estado químico de la misma junto con la cobertura de usos del suelo (figura 4), representando en color rojo aquellas estaciones en las que en alguna analítica se ha superado el 75 % de la norma de calidad de algún parámetro estudiado, y en color azul el resto de estaciones.

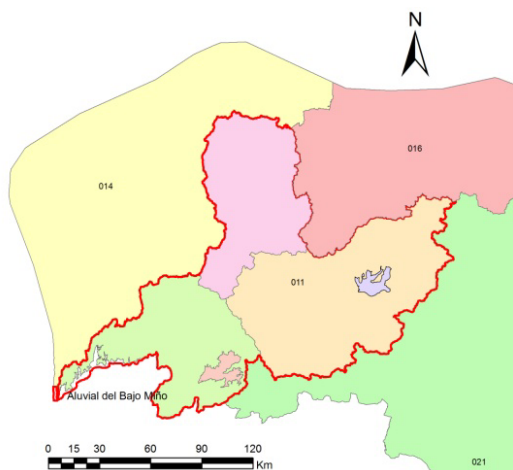


Figura 3. Localización de la masa en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil.

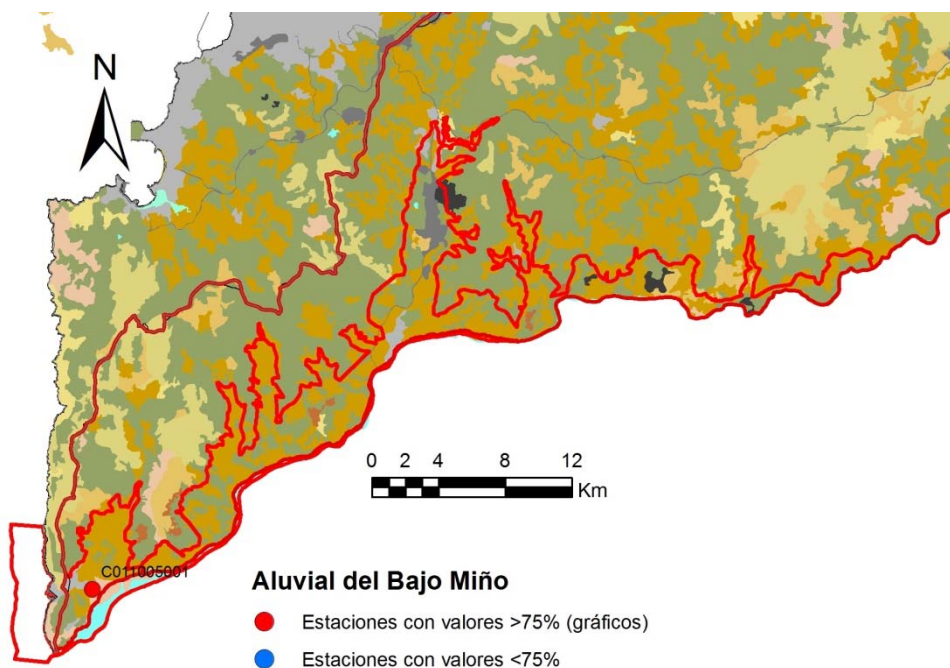


Figura 4. Situación de la estación de control y usos del suelo. Leyenda de usos de suelo (ver figura 2).

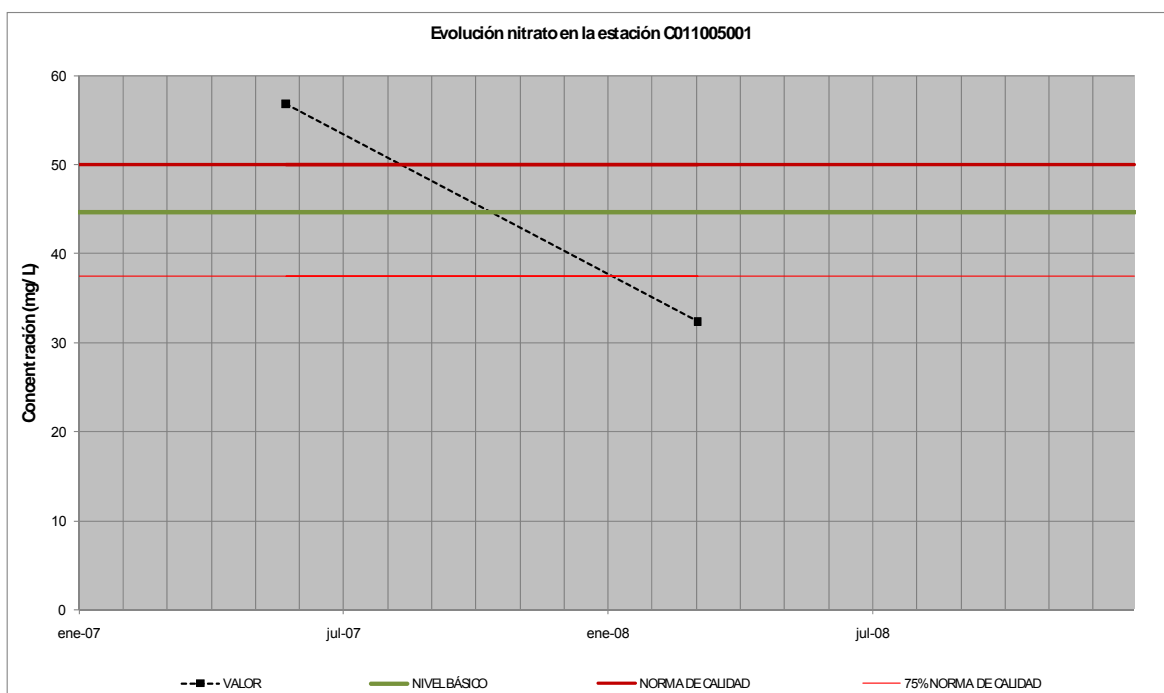
5.2.2. DATOS DISPONIBLES

Para llevar a cabo la evaluación de las tendencias en esta masa de agua subterránea, se utilizarán los datos analíticos correspondientes a la única estación de control existente de la red de seguimiento del estado químico y que presenta valores de nitratos por encima del 75% de la norma de calidad.

5.2.3. GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN

A continuación se presenta el gráfico de evolución temporal de nitratos.

Estación C011005001



5.2.4. CONCLUSIONES

Los valores observados presentan variaciones de más de 50% para un periodo inferior al año..

La densidad espacial de información es, en principio, insuficiente. Se debería plantear un estudio que permitiera determinar si son necesarias nuevas estaciones de control y dónde para poder llevar a cabo un análisis del comportamiento espacial de las variables.

La determinación de la tendencia de la serie es imposible de llevar a cabo desde el punto de vista estadístico, debido a la escasez de información.

Dado que sólo hay dos estaciones en una masa con bastante extensión, no se puede aventurar el estado general de la masa.

Para poder realizar un análisis estadístico de la tendencia, habría que reducir el periodo entre análisis y detectar la fuente de contaminación. Las muestras de seguimiento deberían ser, al menos, semestrales y a intervalos fijos. De forma orientativa, las determinaciones deberían realizarse en marzo-abril y septiembre-octubre de cada año con objeto de detectar posibles estacionalidades.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La información disponible no permite realizar un análisis de tendencias desde el punto de vista estadístico, y la representatividad espacial de las estaciones tampoco permite evaluar la extensión del problema. Hay, por tanto, dudas razonables sobre la representatividad de los valores en el tiempo y en el espacio.

De forma complementaria e igualmente importante, se deben analizar las estaciones de control y la metodología de la toma de muestras. Es decir, características tales como profundidad de los sondeos, localización de las rejillas, uso del agua, protección sanitaria de la captación, método de toma de muestras, etc.

Se considera imprescindible disponer de series temporales más extensas y regulares para poder estimar la tendencia desde un punto de vista estadístico. En este sentido habría que realizar, como mínimo, dos medidas al año y si hay variaciones significativas habría que incrementar las medidas a cuatro. No obstante, la decisión final debería ir acompañada de un estudio de detalle.

La falta de datos anteriores a 2007 impide realizar predicción alguna sobre el comportamiento de los parámetros que en este momento presentan valores inaceptables desde el punto de vista medioambiental.

Se debería realizar un análisis multicriterio de la demarcación en un entorno SIG. Para ello habría que tener en cuenta tanto la información ambiental (presiones, usos del suelo, distribución espacial de variables,...) como la hidrogeológica (tipo de acuíferos, parámetros hidrogeológicos, espesor de la zona no saturada,...) recopilada en las diferentes actividades de la Encomienda de Gestión entre la Dirección General del Agua y el IGME, o procedente de otros trabajos de interés. Los objetivos de este análisis son, entre otros, establecer las bases de control ambiental tanto en el espacio como en el tiempo de la Demarcación Hidrográfica con el fin de conseguir antes del horizonte del año 2015 un control fiable de los parámetros de interés. De esta manera se podrá realizar análisis de tendencias robusto y se podrán aplicar técnicas de predicción de comportamientos similares a las expuestas anteriormente.

La metodología expuesta en el ejemplo para el análisis de datos temporales procedentes de las redes de control se basa en un análisis riguroso desde el punto de vista científico y proporciona unos resultados que no puede aportar un único análisis mediante regresión lineal. De hecho, hay series en las cuales la regresión indica una tendencia en los datos, hipótesis que ha sido rechazada con posterioridad mediante la aplicación de la metodología propuesta. Los motivos para ello son variados, desde la existencia de varias tendencias en el periodo temporal estudiado hasta el incumplimiento de las hipótesis requeridas para la aplicación de las técnicas de regresión. En este último caso la aplicación de métodos no paramétricos, como el Mann-Kendal, ha llevado en ocasiones a rechazar la existencia de dicha "tendencia" significativa, determinada mediante regresión simple.

Los resultados obtenidos con este planteamiento se pueden considerar óptimos puesto que además de determinar el comportamiento de los contaminantes se aporta un

intervalo de confianza en función de la información disponible. Este aspecto se considera de gran interés desde la óptica de la aplicación de la Directiva pues se puede cuantificar el grado de fiabilidad de los resultados del análisis.

Además del análisis amplio de la tendencia que ofrece la metodología presentada, un aspecto muy novedoso e importante que ofrece es el establecimiento de intervalos de predicción con objeto de establecer sistemas de alerta temprana en el comportamiento de los contaminantes, es decir, incremento o descenso de la concentración.

El análisis global que ofrece esta metodología permite utilizarla como una herramienta apropiada para la toma de decisiones, puesto que dependiendo del comportamiento de los contaminantes se deberán realizar acciones para corregir el aumento de la concentración de los mismos y que el coste económico será variable en función del comportamiento detectado.

En definitiva, un análisis riguroso del comportamiento de los contaminantes tiene una doble vertiente. Fiabilidad estadística y reducción de costes económicos derivados de las acciones a realizar para corregir las concentraciones de contaminantes no deseadas. Ambos requisitos los cumple la metodología presentada.

7. REFERENCIAS

Comisión Europea, 2006. Estrategia Común de Implantación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Documento Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias. Versión española de la Dirección General del Agua (marzo, 2009), 92 pp.

European Commission, 2001. Common Implementacion Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results, 63 pp.

Helsel, D.R. and Hirsch, R.M., 2002. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. Statistical Methods in Water Resources. Environmental science and pollution research international, 14(5):297-307.

K. Hornik., 2008. Frequently Asked Questions on R. {ISBN} 3-900051-08-9. <http://CRAN.R-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html>.

www.DMAgw.net

www.attempto-projects.de/aquaterra/21.0.html

ANEXO

METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EVALUACIÓN DE TENDENCIAS. REPRODUCIDA DE LA GUÍA SOBRE ESTADO QUÍMICO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EVOLUCIÓN DE TENDENCIAS, SECCIONES 2.4.2 Y 6.

2.4.2 Evaluación de tendencias

En la evaluación de tendencias, las concentraciones de parámetros individuales inferiores al LC deberían sustituirse por la mitad del valor del LC más elevado registrado en la serie temporal que sea objeto del análisis (anexo IV A, 2d) de la masa de agua subterránea. Este requisito reconoce que los límites de cuantificación pueden variar a lo largo del tiempo y pueden producir sesgos en la evaluación de tendencias.

La excepción es “plaguicidas totales”, en cuya evaluación solo deberían considerarse concentraciones cuantificadas, porque el uso de la norma de sustitución podría dar lugar a un sesgo. Así pues, “plaguicidas totales” debe ser la suma de todos los plaguicidas individuales, incluyendo los metabolitos pertinentes, los productos de degradación y de reacción que se detecten y cuantifiquen (anexo I de la DAS, 1 (nota al pie)).

Además de los requisitos anteriores, para no introducir tendencias artificiales, todos los valores inferiores al LC más elevado deberían sustituirse por ese LC/2. Si las series temporales son suficientemente largas, los Estados miembros deberían decidir si suprimen los datos antiguos –datos consecutivos antiguos y no mediciones separadas dentro de la serie temporal- que presenten LC elevados. Esto garantizaría que se sustituyera por los LC/2 más altos un número inferior de datos medidos, para no perder de este modo información valiosa.

Si en una serie temporal la proporción de valores inferiores al LC es elevada, se puede producir un sesgo importante en la evaluación. En esta situación, no debería llevarse a cabo el test de tendencia si se considera que la influencia de los valores por debajo del LC es demasiado significativa¹⁶.

Nota: En el futuro tal vez puedan utilizarse concentraciones por debajo del LC en la evaluación de tendencias. No obstante, estos datos no están disponibles en muchos casos, y se considera que su uso rutinario plantea dificultades. A la luz de los progresos científicos y técnicos del futuro, la DAS puede ser objeto de modificaciones, de conformidad con el artículo 8.

¹⁶Technical Report No. 1: Aspectos estadísticos de la identificación de las tendencias a la contaminación de las aguas subterráneas y agregación de los resultados del seguimiento – WG 2.8 Estadísticas (2001)

6. EVALUACIÓN DE TENDENCIAS Y DE LA INVERSIÓN DE LAS TENDENCIAS

6.1. Definición de tendencias significativas y sostenidas al aumento de la contaminación e inversión de las tendencias

La DMA y la DAS establecen que los Estados miembros deberán determinar si existen tendencias al aumento significativo y sostenido de las concentraciones de contaminantes, grupos de contaminantes o indicadores de contaminación encontrados en las masas o grupos de masas de agua subterránea respecto de las cuales se haya determinado que están en riesgo (anexo V 2.4.4 de la DMA y artículo 5 de la DAS). Los Estados miembros deberán asimismo invertir dichas tendencias: “los Estados miembros habrán de aplicar las medidas necesarias para invertir toda tendencia significativa y sostenida al aumento de la concentración de cualquier contaminante debida a las repercusiones de la actividad humana con el fin de reducir progresivamente la contaminación de las aguas subterráneas.” (artículo 4.1.b)iii) de la DMA). Las medidas deben ir dirigidas a reducir progresivamente la contaminación y a impedir nuevos deterioros de las aguas subterráneas (artículo 5.2 de la DAS).

Una tendencia significativa y sostenida al aumento es “cualquier aumento significativo desde el punto de vista estadístico y medioambiental de la concentración de un contaminante, grupo de contaminantes o indicador de contaminación en aguas subterráneas para el que se haya determinado la necesidad de una inversión de la tendencia, de conformidad con el artículo 5” (artículo 2.3 de la DAS).

Una tendencia significativa desde el punto de vista estadístico es aquella que haya sido determinada utilizando una técnica reconocida de evaluación de tendencias.

Una tendencia significativa desde el punto de vista medioambiental es aquélla estadísticamente significativa y que, de no invertirse, derivaría en el incumplimiento de uno o más de los objetivos medioambientales estipulados en la DMA.

6.2 Elementos de la evaluación de tendencias y de la inversión de las tendencias

La evaluación de tendencias sólo deberá realizarse en las masas de agua subterránea que estén en riesgo de incumplir los objetivos estipulados en el artículo 4 de la DMA en relación con cada uno de los contaminantes que contribuyan a que la MAS haya sido caracterizada como tal (anexo IV de la DAS). Esto no sólo incluye a las masas de agua identificadas en 2004 en cuanto al cumplimiento de los objetivos del artículo 5 de la DMA, sino también a todas las masas de agua subterránea respecto de las cuales se haya determinado que están en riesgo como resultado de una actualización de la evaluación de riesgos y/o de nuevos resultados obtenidos mediante el control de vigilancia.

También podría ser necesario iniciar una evaluación de las tendencias en las masas de agua subterránea que no estén en riesgo actualmente a fin de distinguir las tendencias prolongadas como consecuencia de cambios de las condiciones naturales y de la actividad humana (anexo V 2.4.2 de la DMA).

Los Estados miembros definirán el punto de partida de las inversiones de tendencia de manera que se puedan invertir las tendencias en el tiempo para evitar un (futuro)

incumplimiento de los objetivos medioambientales pertinentes (artículo 5.3 y anexo IV, B de la DAS). Este punto de partida se definirá como porcentaje de la norma de calidad de las aguas subterráneas o del valor umbral pertinente, y se notificará en el PHC.

Los Estados miembros identificarán en los planes hidrológicos de cuenca las MAS que presenten tendencias a un aumento significativo y sostenido y, cuando proceda, aquéllas donde se hayan invertido las tendencias. El PHC explicará asimismo de manera resumida la forma en que se hayan utilizado los resultados obtenidos en los distintos puntos de control para identificar dichas tendencias (artículo 5.4 de la DAS).

Los Estados miembros podrán también realizar evaluaciones de tendencia adicionales a fin de verificar que los penachos procedentes de sitios contaminados no representan una amenaza para el logro de los objetivos del artículo 4 de la DMA; en particular, que no se expandan ni deterioren el estado químico de la masa o grupos de masas de agua subterránea, y que no supongan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (artículo 5.5 de la DAS).

En el marco de la evaluación de tendencias significativas y sostenidas al aumento y de la evaluación de la inversión de las tendencias deberán tomarse en consideración los siguientes elementos (véase también la figura 14):

- cuál es el método estadístico correcto para evaluar las tendencias en cada punto de control (como el análisis de regresión);
- cómo tratar los valores obtenidos mediante el seguimiento que se sitúan por debajo del límite de cuantificación;
- cuál es la duración adecuada de las series temporales;
- cómo considerar los niveles básicos de sustancias que se producen de manera natural y antropogénica;
- cuál es el grado de fiabilidad aceptable de la evaluación de las tendencias;
- cómo establecer un punto de partida de la inversión de tendencias;
- cómo demostrar estadísticamente que se ha invertido la tendencia declarando el grado de fiabilidad de la identificación.

De conformidad con el mandato recibido por el grupo de redacción de este documento, los criterios sobre la evaluación de tendencias y la evaluación de la inversión de las tendencias deben considerar como fuente básica el Informe Técnico nº 1 de la CIS³⁴. Asimismo deben tenerse en cuenta el desarrollo de nuevas metodologías y las experiencias adquiridas en los Estados miembros.

³⁴ Technical Report No. 1: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends and aggregation of monitoring results – WG 2.8 Statistics (2001).

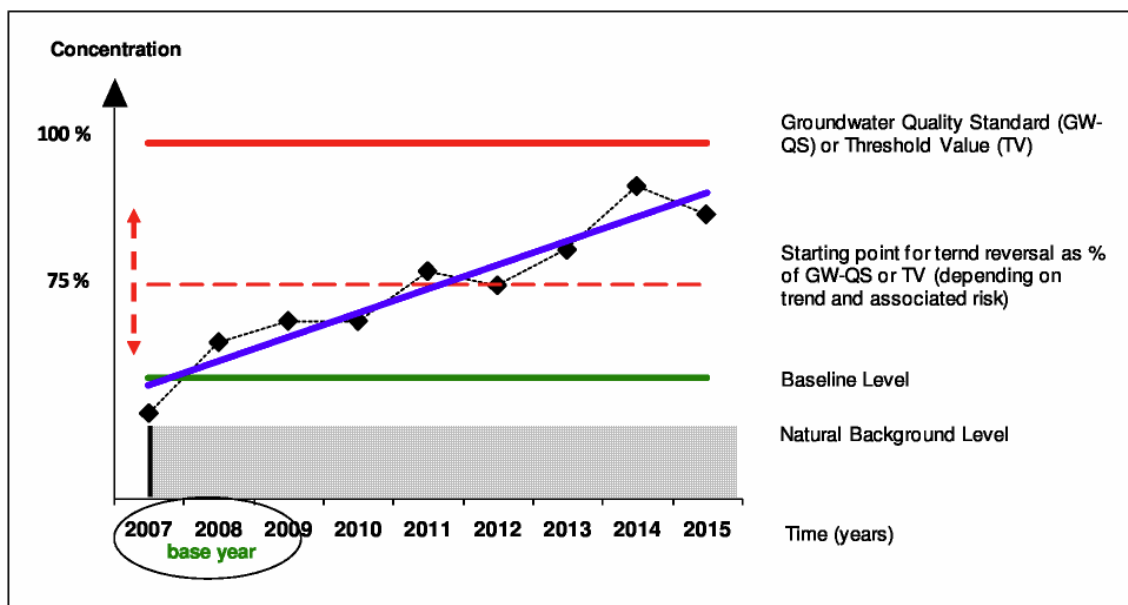


Figura 14. Elementos de la evaluación de tendencias y de inversión de las tendencias

6.2.1 Parámetros considerados

El anexo V 2.4.4 de la DMA y el artículo 5.1 de la DAS establecen que se determinará toda tendencia significativa y sostenida al aumento de las concentraciones de los contaminantes, grupos de contaminantes o indicadores de contaminación detectada en masas de agua subterránea o grupos de masas de agua subterránea en riesgo. A diferencia de la evaluación del estado químico, ninguna de las directivas establece de manera explícita qué parámetros deben someterse a esta evaluación.

El punto de partida de la inversión de las tendencias se establecerá en relación con las normas de calidad de las aguas subterráneas recogidas en el anexo I de la DAS y/o los valores umbral establecidos en el artículo 3 para parámetros que supongan un riesgo para la MAS. Se considera, por consiguiente, que debe realizarse una evaluación de las tendencias y de la inversión de éstas para los parámetros que representen un riesgo para la masa de agua subterránea.

La evaluación de tendencias podría realizarse también para cualquier otro parámetro – natural- que pueda ocurrir en cualquier punto de la masa de agua subterránea como consecuencia de la actividad humana, si los Estados miembros consideran que existe potencial para que en un futuro aparezcan tendencias significativas para el medio ambiente.

Esta información podrá utilizarse en la caracterización y evaluación de riesgos, y constituye una alerta temprana ante posibles problemas futuros para las masas de agua subterránea que actualmente estén en riesgo, así como para aquéllas que no lo estén.

La evaluación de tendencias para comprobar que no se expanden los penachos contaminantes es muy específica de cada caso y debe centrarse en los contaminantes o

indicadores de contaminación correspondientes a los respectivos tests del estado de las aguas subterráneas.

6.2.2 Diseño de la red de seguimiento

De conformidad con el anexo IV A, 2.a) de la DAS, las características de la red de seguimiento – determinación de frecuencias de medida y selección de puntos de control- deberá ser suficiente para:

- garantizar que las tendencias al aumento puedan distinguirse de las variaciones naturales con un nivel adecuado de fiabilidad y precisión;
- determinar con tiempo suficiente las tendencias al aumento para que puedan adoptarse medidas;
- tener en cuenta las características temporales, físicas y químicas, de la masa de agua subterránea, incluidas las condiciones de flujo y los índices de recarga del agua subterránea, así como el tiempo que ésta tarda en atravesar el suelo o el subsuelo.

El anexo IV A, 2.b) de la DAS establece asimismo que “se utilizarán métodos de control y análisis acordes con los principios internacionales de control de la calidad, entre ellos, si procede, las normas CEN o los métodos nacionales normalizados, para garantizar que se proporcionen datos de calidad científica equivalente que puedan compararse”.

6.2.3 Datos de la red de seguimiento

La evaluación de tendencias y de la inversión de las tendencias se basará en los datos obtenidos en los controles de vigilancia y operativo en los distintos puntos de control. Esta determinación de tendencias se llevará a cabo por primera vez en 2009, si es posible, y teniendo en cuenta los datos recopilados con anterioridad al ciclo en curso del PHC, a fin de permitir una evaluación fiable de las tendencias e informar sobre las mismas en el primer PHC (anexo IV A,2.a,ii y anexo IV A,3).

Cuando dispongan de datos de seguimiento adicionales que sean representativos, los Estados miembros tendrán libertad para incluirlos en la evaluación cuando puedan contribuir a mejorar la fiabilidad de la misma. No obstante, los datos deberán ser directamente comparables con los datos de seguimiento previstos en la DMA -p.ej. con respecto a los métodos de análisis, el muestreo y el control de calidad-.

6.2.4 Utilización de los niveles básicos

Para la determinación de tendencias en las concentraciones de sustancias que se produzcan naturalmente y como resultado de las actividades humanas se considerarán también los niveles básicos (anexo IV A,3 de la DAS).

“Nivel básico” es el valor medio medido por lo menos durante los años de referencia 2007 y 2008 sobre la base de los programas de control aplicados De conformidad con el artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE o, en el caso de sustancias identificadas después de

los citados años de referencia, durante el primer período para el que se disponga de un período representativo de datos de control” (artículo 2.6 de la DAS).

El nivel básico proporciona un punto de referencia respecto al cual puedan medirse futuros cambios -tendencias- en las concentraciones de contaminantes. Los Estados miembros podrán utilizar todos los demás datos representativos³⁶ de que puedan disponer que sean anteriores a la aplicación de los programas de seguimiento previstos en el artículo 8 de la DMA. **Atención:** el nivel básico no debe confundirse con el nivel de referencia (natural).

De conformidad con el anexo V 2.4.4 de la DMA, el año de base corresponde al año en que se midieron los niveles básicos. **Atención:** no debe confundirse el año de base de la evaluación de tendencias con el punto de partida de la inversión de tendencias.

6.2.5 Duración de las series temporales utilizadas

La duración de las series temporales que deben utilizarse en la evaluación de tendencias dependerá de cómo reacciona la masa de agua subterránea a los cambios en las prácticas que se desarrollan en la superficie del suelo -modelo conceptual-, de la capacidad del método de test de tendencias para detectar las tendencias y de la calidad de los datos (véase tratamiento de valores menores que el límite de cuantificación (LC), capítulo 3.4). Los datos de calidad deficiente y los altos LC en el pasado, así como las series temporales demasiado largas, podrían tener una influencia significativa y duradera en los resultados de la evaluación de tendencias, aun cuando los datos recientes puedan ser de buena calidad.

Para evitar posibles sesgos en la evaluación global -p.ej. a escala de masa de agua subterránea o a escala regional- es preferible utilizar series temporales de datos de la red de seguimiento de una duración constante. La extensión mínima de las series temporales que deben utilizarse, en términos de número de mediciones normalizadas y del número mínimo de años considerados, dependerá de la frecuencia del seguimiento, del método estadístico, del punto de partida de la inversión de tendencias y de la potencia del método. La extensión máxima de las series temporales que deben utilizarse dependerá del modelo conceptual de la MAS, de la evolución temporal de las concentraciones y de la variabilidad de los datos. Una serie temporal demasiado larga podría dar resultados de tendencias sesgados por cambios que se hayan producido en los primeros años de la serie temporal. En consecuencia, podría ser de utilidad probar con una serie temporal larga para comprobar si se producen cambios significativos en la tendencia. Si es éste el caso, habrá que investigar utilizando solamente datos recientes, siempre que su duración sea suficiente para evaluar las tendencias. Sin embargo, se recomienda siempre cautela para garantizar que la duración de la serie temporal considerada sigue siendo coherente con el modelo conceptual de la MAS -p.ej. tasas de transferencia, tiempos de residencia, etc-. Como regla general, nunca deben descartarse datos a menos que se demuestre que son incorrectos como consecuencia de algún error cometido en el muestreo o en las determinaciones analíticas.

³⁶Véase la guía pertinente sobre muestreo y seguimiento QA/QC en la que se encontrará una descripción completa de cómo garantizar que los datos se hayan generado utilizando métodos reproducibles y que son representativos de la MAS.

6.2.6 Metodología de evaluación de tendencias

La evaluación se basará en un método estadístico conocido y apropiado, como el análisis de regresión (anexo IV A,2.c)). Habida cuenta de que “significativo” se refiere a significación estadística -además de medioambiental-, el método elegido debe poder probar la significación estadística de la tendencia en cuestión.

Cuando se definan los puntos de partida de la inversión de las tendencias, el tiempo transcurrido desde el punto de partida hasta el momento en que se superan las normas de calidad de las aguas subterráneas o los valores umbral deberá ser suficiente para que la metodología de evaluación de tendencias utilizada pueda detectar una tendencia significativa, es decir, que el tiempo transcurrido sea suficiente para detectar una tendencia significativa desde el punto de vista medioambiental y para adoptar medidas para invertir dicha tendencia. La capacidad de un método para detectar un aumento determinado en las concentraciones de contaminantes con una probabilidad determinada se denomina “potencia” del método³⁶ .

A fin de distinguir con un grado adecuado de fiabilidad y precisión entre variación natural y tendencias, la metodología para evaluar la tendencia también debe incluir, cuando proceda, un test de estacionalidad, es decir, cuando en las concentraciones se produzcan variaciones significativas dentro de un mismo año.

6.2.7 Confianza en la evaluación

El grado de fiabilidad asociado a cualquier tendencia identificada o inversión de tendencia deberá demostrarse y registrarse (anexo V 2.4.4 de la DMA y anexo IV B,3. de la DAS).

Para que una tendencia sea estadísticamente significativa se recomienda como norma que la fiabilidad de la evaluación sea de un 95%.

6.2.8 Punto de partida de la inversión de tendencias

La DAS establece en su artículo 5.3 que los Estados miembros definirán puntos de partida para la implantación de medidas destinadas a invertir las tendencias, y el anexo IV, parte B de la DAS especifica los criterios para el establecimiento de dichos puntos de partida. El punto de partida debe tener en cuenta el riesgo o los riesgos medioambientales asociados a la masa de agua subterránea, los objetivos medioambientales y las normas de calidad de las aguas subterráneas y/o los valores umbral que se hayan establecido para la masa de agua. El punto de partida será un porcentaje de dichas normas de calidad o valores umbral.

Como norma general, el punto de partida será el momento en el cual la concentración del contaminante alcance el 75% de los valores paramétricos de las normas de calidad las aguas subterráneas y de los valores umbral pertinentes, a menos que:

³⁶Informe Técnico nº 1: Aspectos estadísticos de la identificación de las tendencias contaminantes en aguas subterráneas y agregación de los resultados de seguimiento – GT 2.8 Statistics (2001)

a) sea necesario un punto de partida anterior para permitir que las medidas de inversión impidan del modo más rentable, o al menos mitiguen en la medida de lo posible, cualquier cambio adverso significativo en la calidad del agua subterránea;

b) se justifique un punto de partida distinto si el límite de detección -o el límite de cuantificación- no permite establecer la presencia de una tendencia cifrada en el 75% de los valores paramétricos; o

c) la tasa de aumento y la reversibilidad de la tendencia sean tales que, de tomarse un punto de partida posterior para aplicar medidas de inversión de la tendencia, éste seguiría permitiendo que dichas medidas impidan del modo más rentable, o al menos mitiguen en la medida de lo posible, cualquier cambio adverso significativo desde el punto de vista medioambiental en la calidad del agua subterránea. Este punto de partida posterior no podrá suponer retraso alguno en el cumplimiento de los plazos para el logro de los objetivos medioambientales.

Un punto de partida diferente podría estar justificado también cuando las concentraciones de referencia naturales y los valores umbral estén muy cerca unas de otros o sean los mismos (caso 2 en el apartado 4.3.3).

El punto de partida para aplicar medidas encaminadas a invertir las tendencias depende principalmente de las características de la MAS -según definición en el modelo conceptual- y de su capacidad de responder a dichas medidas. El punto de partida elegido debe permitir a los Estados miembros invertir estas tendencias de la manera más rentable antes de que las concentraciones de contaminantes causen cambios adversos significativos en la calidad del agua subterránea. En MAS que reaccionen muy lentamente a los cambios podría ser necesario un punto de partida anterior; para las masas de agua subterránea que responden con rapidez podría justificarse un punto de partida posterior.

Una vez establecido un punto de partida para una tendencia, éste no se modificará durante el ciclo de seis años del plan hidrológico de cuenca (anexo V, B, 2 de la DAS).

6.2.9 Metodología de evaluación de la inversión de las tendencias

Tal como establece la DAS (anexo IV B, 3), deberá demostrarse la inversión de tendencias.

En el Informe Técnico nº 1 ³⁷ se describe una metodología de evaluación de la inversión de tendencias, que esté basada en un análisis de regresión, en el que se analiza cada serie temporal para determinar si se ha producido un cambio en la tendencia. Esto ocurre cuando una tendencia sostenida y significativa al aumento va seguida de una tendencia significativa al descenso.

37 Informe Técnico nº 1: Aspectos estadísticos de la identificación de las tendencias contaminantes en aguas subterráneas y agregación de los resultados de seguimiento – GT 2.8 Statistics (2001)

6.2.10 Calendario de la evaluación de tendencias y de la inversión de las tendencias

La determinación de tendencias se llevará a cabo por primera vez en 2009, si es posible, y en lo sucesivo, una vez cada seis años como mínimo (anexo IV A, 2. ii) de la DAS), teniendo en cuenta los datos existentes obtenidos en el control de vigilancia y el control operativo, así como los datos de seguimiento recopilados antes del comienzo del programa de seguimiento. Esto permitirá informar sobre las tendencias en el primer PHC (anexo IV A, 2. a), ii) y anexo IV A, 3).

Habida cuenta de que el proyecto de PHC se someterá a la participación pública un año antes de su entrada en vigor, se recomienda que, si es posible, los Estados miembros evalúen las tendencias y la inversión de tendencias antes de presentar el proyecto de PHC.

6.3 Tests para evaluación de tendencias y de la inversión de las tendencias

Para cumplir los requisitos previstos en la DMA y la DAS, la evaluación de tendencias deberá:

- determinar si una masa de agua subterránea en riesgo está sometida a una tendencia significativa y sostenida al aumento que de conformidad con el artículo 5.1 y 5.2 deba invertirse; estas tendencias entran dentro de dos categorías generales (véase la tabla 3):
 - “que presenten un riesgo para los usos legítimos, reales o potenciales, del medio acuático”
 - “que representen un riesgo para la calidad de los ecosistemas acuáticos” o “para los ecosistemas terrestres”
- en el marco de la evaluación del estado químico (evaluación de la intrusión salina y objetivos para zonas protegidas para la captación de agua potable) (véase la tabla);
 - evaluar, cuando corresponda, el impacto de penachos de contaminación procedentes de fuentes contaminantes y lugares contaminados que puedan comprometer el cumplimiento de los objetivos especificados en la DMA y la DAS (artículo 5.5 de la DAS) (véase la tabla 4).

La evaluación de la inversión de las tendencias es necesaria si una MAS está sometida a una tendencia significativa y sostenida al aumento que, de conformidad con el artículo 5.1 y 5.2 deba invertirse.

Tabla 3. Evaluación de tendencias (artículo 5.1 y 5.2 de la DAS). Resumen de elementos y tests correspondientes

Evaluación de tendencias (artículo 5.1 y 5.2 de la DAS)	Test	de Evaluación tendencias	de la de Evaluación inversión tendencias	Determinación a nivel de la MAS	Puntos de control pertinentes
Determinar e invertir tendencias que supongan un riesgo significativo para los usos reales o potenciales del medio acuático	Ningún daño a los usos legítimos.	X	X	X	X
Determinar e invertir tendencias que supongan un riesgo significativo para la calidad de los ecosistemas acuáticos	Ningún daño a los ecosistemas acuáticos.	X	X	X	X
Determinar e invertir tendencias que supongan un riesgo significativo para los ecosistemas terrestres	Ningún daño a los ecosistemas terrestres.	X	X	X	X

Tabla 4. Evaluación adicional de tendencias. Resumen de elementos y tests correspondientes.

Nueva evaluación de tendencias	Test	de Evaluación tendencias	de la de Evaluación inversión tendencias	Determinación a nivel de la MAS	Puntos de control pertinentes
Se considerará una evaluación de tendencias para comprobar que los penachos resultantes de lugares contaminados no se expanden, no deterioran el estado químico de la masa o grupo de masas de agua subterránea y no suponen un riesgo para la salud humana ni para el medio ambiente (DAS, art. 5.5).	No hay expansión de penachos que supongan deterioro del estado químico ni riesgo para la salud humana ni el medio ambiente.	X			X
Evaluación del estado					
En la masa de agua subterránea no hay entradas ni conato de entrada de agua de mar ni de agua de una composición química sustancialmente diferente de otras masas de agua subterránea o aguas superficiales que pueda causar contaminación (DMA, anexo V 2.3.2).	No hay intrusión salina ni de otro tipo.	X			X
No hay deterioro de la calidad de las aguas para el consumo humano (DAS, artículo 4.2.c), iii) y anexo III 4)	Cumple los requisitos del artículo 7.3 de la DMA Zonas protegidas de captación de agua potable	X			X

6.3.1 Determinación de tendencias significativas desde el punto de vista medioambiental y escala de la evaluación (artículo 5.1 de la DAS)

La DAS establece en su artículo 5.1 que los Estados miembros determinarán si la masa de agua subterránea está afectada por una tendencia significativa y sostenida al aumento desde el punto de vista medioambiental inducida antropogénicamente.

Habida cuenta de que la evaluación de tendencias se basa en los datos procedentes del seguimiento individual o de los puntos de control operativo, será necesario un procedimiento para combinar los resultados de las distintas evaluaciones de tendencias y de inversión de tendencias en los puntos de control a fin de medir la tendencia a nivel de la masa de agua subterránea (artículo 5.4.a) de la DAS).

Para determinar si una tendencia es significativa desde el punto de vista medioambiental pueden aplicarse los mismos principios que para evaluar el estado químico. Esto significa que la evaluación de tendencias deberá aplicarse a la misma escala que se utilice para medir la magnitud de la tendencia, es decir, podría ser necesario realizar la evaluación de tendencias en los puntos de control individuales, en los grupos de puntos de control o agregando los resultados obtenidos en toda la MAS. Por ejemplo, cuando se examine la importancia medioambiental de un riesgo medioambiental extenso procedente de los contaminantes -p.ej. como consecuencia de fuentes de contaminación difusa-, deben agregarse los datos de la tendencia en la MAS porque todos los puntos de control podrían considerarse importantes.

Cuando el riesgo afecte a un ecosistema específico -acuático o terrestre- que dependa del agua subterránea, lo importante podrían ser las tendencias en los puntos de control individuales o en los grupos de puntos de control por su relevancia en que la MAS no alcance los objetivos medioambientales.

6.3.2 Test: “Riesgo para los usos existentes, reales o potenciales del medio acuático” (DAS, artículo 5.1 y 5.2)

Este test permite determinar las tendencias de relevancia medioambiental causadas por la extensión del impacto o por el riesgo procedente de contaminantes -por ej. de fuentes de contaminación difusas que afecten a toda la MAS-. Para poder realizar la evaluación deberán agregarse los datos sobre las tendencias procedentes de toda la MAS y, en consecuencia, todos los puntos de control podrían considerarse importantes. Si la evaluación general de tendencias a escala de MAS detecta una tendencia sostenida al aumento, una evaluación específica en los puntos de control podría ayudar a centrar, de una manera más eficaz, las medidas encaminadas a invertir dichas tendencias.

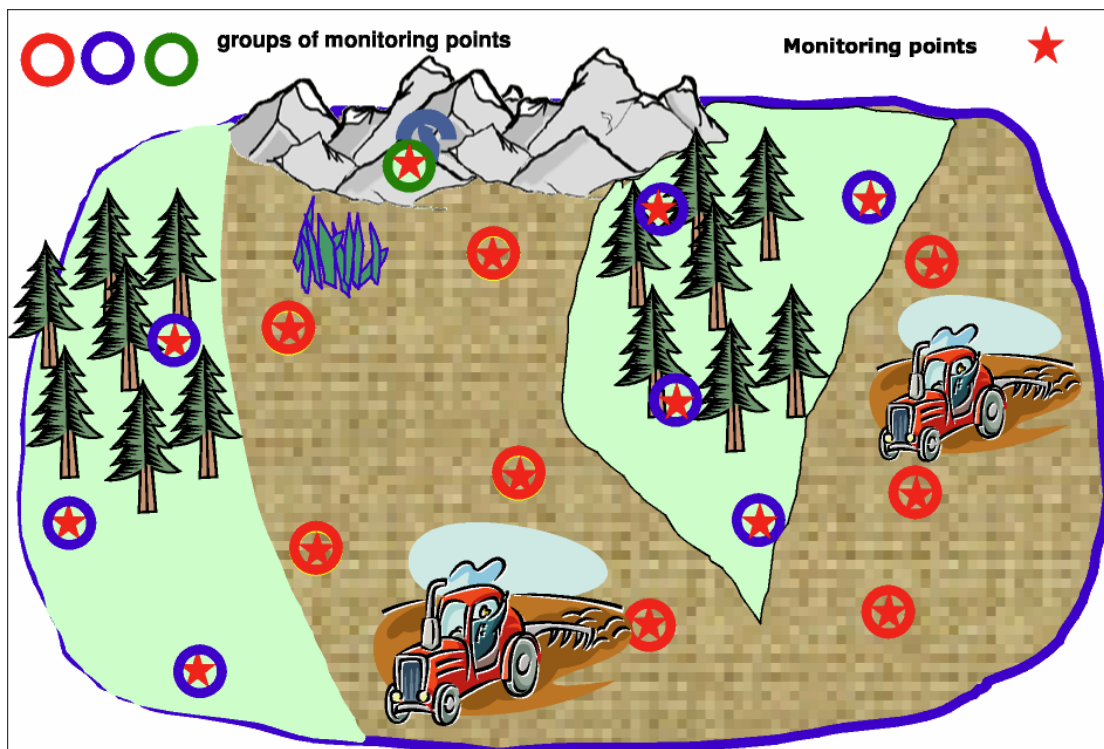


Figura 15. Selección de todos los puntos de control que se consideran pertinentes para el test de riesgo para usos legítimos.

La evaluación de impactos de ámbito más local -por ej. fuentes de contaminación difusas regionales o fuentes de contaminación puntuales- exige que se agrupen los puntos de control en la masa de agua subterránea. Según el modelo conceptual -presiones pertinentes, vulnerabilidad del acuífero, etc.-, solamente deben utilizarse los “grupos” de puntos de control pertinentes.

6.3.3 Test: “Riesgo para ecosistemas acuáticos” y “Riesgo para ecosistemas terrestres” (DAS, artículo 5.1 y 5.2)

El test de riesgo para ecosistemas acuáticos y terrestres es comparable a la evaluación mencionada anteriormente, relativa a los impactos de ámbito más local. Es similar a la evaluación del estado que sólo utiliza los puntos de control pertinentes en la masa de agua subterránea -por ej. puntos de control en zonas donde los contaminantes podrían pasar a la masa de aguas superficiales o a un ecosistema terrestre dependiente-. En el caso de los ecosistemas acuáticos y terrestres, un único punto de control pertinente podría ser suficiente para indicar que en la masa de agua subterránea existe una tendencia significativa siempre que dicho punto de control pertinente indique una tendencia.

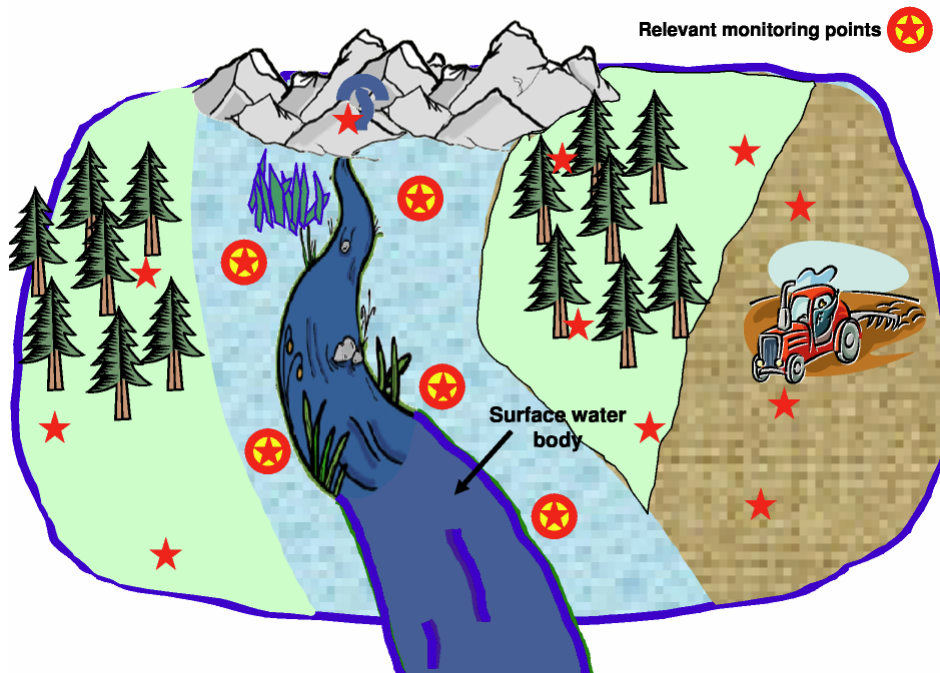


Figura 16. Selección de puntos de control considerados pertinentes para el test sobre riesgo para ecosistemas acuáticos y terrestres.

6.3.4 Evaluación de tendencias como apoyo de la evaluación del estado

La evaluación de tendencias forma parte integral del análisis del estado para detectar intrusiones salinas o de otro tipo (véase capítulo 4.4.3) y del test para determinar que el agua destinada al consumo humano no ha sufrido deterioro y cumple los requisitos especificados en el artículo 7.3 de la DMA (véase capítulo 4.4.6) (tabla 4). La evaluación de tendencias en estos casos se aplica en puntos de control que sean apropiados para los procedimientos pertinentes de evaluación del estado.

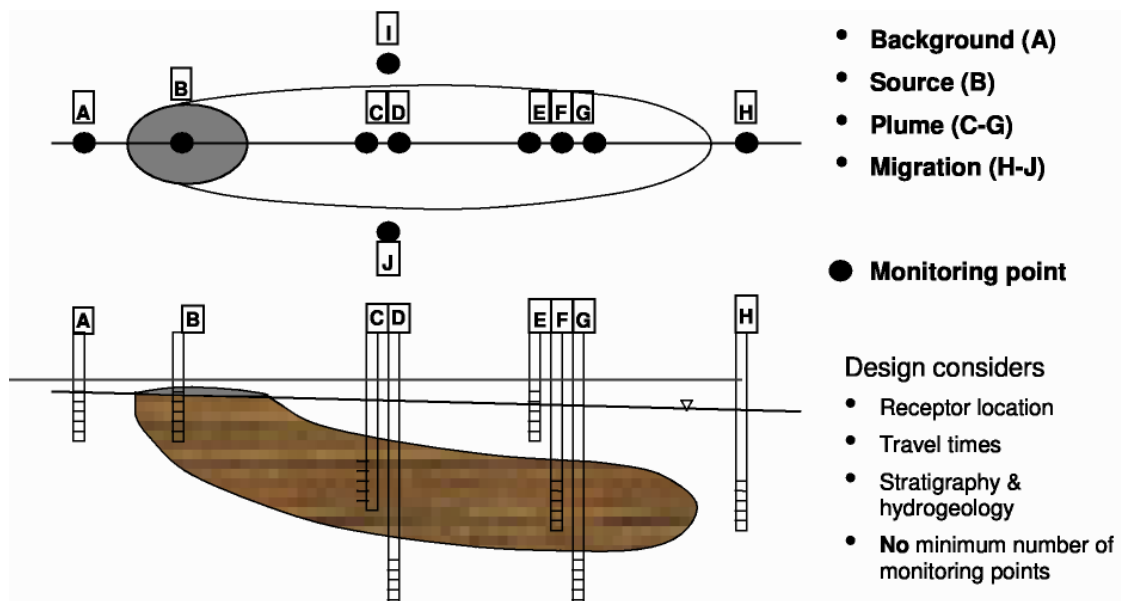


Figura 17. Red de seguimiento para comprobar que no se expanden los penachos