

Una aplicación de los modelos numéricos al estudio de la contaminación por nitratos de acuíferos libres (*)

Por JOSE FERRER POLO

Dr. Ingeniero de Caminos

FRANCISCO RAMOS RAMIS

Dr. Ingeniero de Caminos

Dpto. Ingeniería Sanitaria

Escuela de Ingenieros de Caminos, C. y P.

Universidad Politécnica de Valencia

El presente trabajo consiste en la aplicación de un modelo concreto, aplicable a cualquier contaminante de tipo regional, a una zona concreta, el sector Norte de la comarca de l'Horta (Valencia), y a una contaminación concreta, la provocada por nitratos.

En primer lugar se hace referencia al modelo que se va a utilizar, indicando donde aparece la influencia del contaminante que se desea estudiar. Se realiza una somera descripción del ciclo terrestre del nitrógeno exponiendo, a continuación, las simplificaciones introducidas para su tratamiento numérico describiendo la metodología aplicable a la calibración de los parámetros representativos del citado ciclo.

A continuación se realiza una breve descripción de la zona de aplicación con sus características más sobresalientes. Se expone la metodología a seguir; con el establecimiento, primero de un modelo de flujo y a continuación el de nitratos, indicando las hipótesis básicas realizadas y los resultados obtenidos en la calibración del ciclo terrestre del nitrógeno.

Finalmente se realiza una simulación de la evolución prevista y de algunas alternativas posibles para disminuir la contaminación por nitratos.

1. EL MODELO NUMERICO UTILIZADO

Puesto que el contaminante que se va a estudiar es de tipo regional, está asociado al regadío; el modelo que se aplicará es el ya expuesto, con carácter general, por los mismos autores y que por estar especialmente adaptado a este caso supone una gran eficiencia de cálculo. En él la ecuación diferencial que describe, con toda generalidad, el movimiento de una especie química en un acuífero se ha simplificado, despreciando la variación de concentración debida a la dispersión hidrodinámica, de forma que, para flujo bidimensional, se expresa como:

$$\frac{\delta (b C)}{\delta t} = - \frac{\delta}{\delta x} (b C V_x) - \frac{\delta}{\delta y} (b C V_y) - W \quad (1)$$

donde:

- C es la concentración media, en una misma vertical, de la especie química disuelta ($M L^{-3}$).
- b es el espesor saturado del acuífero (L).
- t es el tiempo (T).
- x, y son las coordenadas cartesianas (L).
- V_x, V_y son las velocidades reales del agua en las direcciones x, y ($L T^{-1}$).
- W es la masa que desaparece o aparece por unidad de superficie y tiempo ($M L^{-2} T^{-1}$).

La expresión (1) es absolutamente general e independiente del contaminante, cuya influencia se encuentra recogida exclusivamente en W, función fuente o sumidero.

La forma de plantear el modelo numérico, así como la demostración de su incondicional convergencia y estabilidad puede verse en Ferrer y Ramos, 1981.

2. LA CONTAMINACION POR NITRATOS

Las fuentes potenciales más importantes de conta-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1982.

minación por el ión nitrato de las aguas subterráneas son las siguientes:

1. Vertido de efluentes nitrogenados en el acuífero, tales como riego con aguas residuales.
2. Excedentes de fertilizantes nitrogenados que penetran con la infiltración debida al regadío.
3. Lixiviación de componentes nitrogenados en vertederos no controlados.
4. Residuos de concentraciones ganaderas estabulares.

Las dos primeras fuentes potenciales tienen carácter regional siendo los determinantes de la variación de la concentración de nitratos en el acuífero para estudios regionales. Las dos últimas tienen carácter puntual y su influencia, aunque diferente en cada caso, no suele ser grande cuando la escala de trabajo es la regional.

Ensayos tanto «in situ» como en laboratorio realizados por Bailey, 1968, han demostrado que prácticamente la única forma móvil del nitrógeno es el ión, por lo que el nitrógeno, según su procedencia, sufre alguno de los siguientes pasos antes de incorporarse al acuífero según J. R. Burford y B. Pain, 1912:

- a) El nitrógeno que ya llega al terreno en forma de nitratos se divide en tres partes:
 - Parte es metabolizada por las plantas.
 - Parte sufre una reducción microbiana que lo transforma en nitrógeno gaseoso y pasa a la atmósfera.
 - Parte se incorpora, en forma de nitratos, al acuífero.
- b) El nitrógeno incorporado en forma distinta a los nitratos sufre un proceso de amonificación que lo transforma en amonio, dividiéndose entonces en dos partes:
 - Parte sufre un proceso de nitrificación, se transforma en nitratos y sigue el proceso indicado en a).
 - Parte del amonio queda adsorbido en el terreno.

El ciclo terrestre del nitrógeno es pues, bien conocido cualitativamente, pero no cuantitativamente, de ahí su dificultad de integrarlo en un modelo numérico sin recurrir a hipótesis simplificadoras.

Las hipótesis simplificadoras utilizadas en este caso son las propuestas por A. Mercado, 1974, las cuales permiten resumir el ciclo terrestre del nitrógeno en dos parámetros, coeficiente de pérdidas y tiempo de paso.

La suposición de que la cantidad total de nitrógeno

incorporada, en forma de nitratos, al acuífero es proporcional a la depositada sobre el terreno, tras deducir la eliminada por los cultivos, se expresa numéricamente mediante el coeficiente de pérdidas de valores comprendidos entre 0 y 1, según que no se incorpore nada o todo el nitrógeno presente.

Por otra parte el desfase que se produce en el momento en que el nitrógeno se deposita en el terreno y aquel en que alcanza el acuífero es el denominado tiempo de paso; que en el caso del ión nitrato coincide con el tiempo de paso del agua a través de la zona no saturada, el cual depende de múltiples factores (Thomas, 1970; Bressler, 1973; Wilson y Gelhar, 1974; Bigger y Nielssen, 1977).

3. CALIBRACION DEL MODELO

Para poder utilizar un modelo, es decir, para simular, es preciso conocer los parámetros citados en cada una de las celdas que constituyen el mallado con el que se discretiza la zona que se desea estudiar. Como en principio no se conoce el valor de los citados parámetros es precisa una fase inicial de calibración, durante la cual se reproduce por medio del modelo una época histórica en la cual se disponga de datos reales variando los valores de los parámetros para conseguir un buen ajuste entre los valores calculados y los reales. Dado que la escala del estudio es regional, una buena manera de comparar los datos reales con los calculados es la superposición de las líneas de isoconcentración históricas y calculadas en varios instantes de tiempo.

Es posible mediante la utilización de una especie química auxiliar de coeficiente de pérdidas conocido como es el caso del ión cloruro de coeficiente de pérdidas la unidad, separar la calibración de los dos parámetros calibrando primeró por medio del ión cloruro, el tiempo de paso y con éste ya conocido proceder ya con el ión nitrato a la calibración del coeficiente de pérdidas

4. LA ZONA DE APLICACION DEL MODELO

La zona a la que se aplica el modelo descrita representada en la figura 1, tiene una superficie aproximada de 80 Km.² estando situada al Norte de la costa de la provincia de Valencia y siendo su población, en 1979, de 135.312 habitantes.

Una descripción de la zona puede verse en Aragonés y Sahuquillo, 1976, de los cuales se extrae un breve resumen. Se trata de una zona llana limitada por la costa y las montañas en sus fronteras Este y Oeste por el Barranco del Carraixet y la acequia de

agrupado los valores mensuales obtenidos en valores bimensuales coincidentes con los intervalos de tiempo utilizados.

5.1.3. Calibración del modelo de flujo.

Para el establecimiento de los valores correctos de los parámetros hidrogeológicos del acuífero se dispuso de 10 piezómetros en los cuales se conocía la evolución de los niveles, lo que permitió mediante el método prueba-error, y tras efectuar un total de 14 pasadas de calibración comparando, en cada una, los niveles históricos y los calculados fijar los valores de los parámetros hidrogeológicos del acuífero en cada celda.

5. 2. Modelo de nitratos.

Este modelo está totalmente superpuesto al anterior, por lo que la discretización espacial y temporal, condiciones de contorno, período de calibración, etc., son iguales a lo indicado en 5.1.

5.2.1. Datos de entrada para la calibración.

Los datos utilizados se han tomado, para toda la zona del estudio realizado por F. Ramos en 1977, el cual suministra valores medios diarios o anuales.

Son datos de valor constante, durante el período de calibración, la concentración media de nitratos en octubre del 72 y el coeficiente de pérdidas en cada celda, así como los siguientes:

- Concentración media de nitratos en el agua de lluvia, 1,2 mg/1.
- Concentración media de nitratos en el agua de la Acequia de Moncada antes de penetrar en la zona, 6,5 mg/1.
- Aporte de nitratos por persona y día en las aguas residuales, 59,82 gr/persona/día.
- Aporte de nitratos por excedentes de fertilizantes, 576 Kg/Ha/año en cítricos, y 842 Kg/Ha/año en huerta.

5.2.2. Cálculo de las entradas para la calibración.

El cálculo de las entradas de nitratos en cada celda se ha efectuado en dos pasos. En el primero se ha calculado la cantidad total de nitratos depositada mensualmente sobre el terreno, la cual, para cada celda, es función de la superficie agrícola de la celda, el tipo de cultivo y su situación. En el segundo se ha considerado en qué momento la parte de nitratos que alcanza el acuífero lo hace, para lo cual se ha

considerado el hecho de que exista o no infiltración eficaz, de forma que en la zona de huerta los nitratos alcanzan el acuífero en el mismo intervalo de tiempo en que se depositan sobre el terreno y en la zona de cítricos se han concentrado las entradas de nitratos en el período comprendido de junio a septiembre ambos inclusive, pues es en estos meses cuando se produce infiltración eficaz.

5.2.3. Calibración del modelo de nitratos.

Puesto que, como se indicó en 5.1., puede suponerse el tiempo de paso nulo; el único parámetro a calibrar es el coeficiente de pérdidas para cada celda. Se dispuso de cinco períodos de tiempo en los cuales fue posible, a partir de los valores históricos, trazar algunas líneas de isoconcentración de nitratos y por comparación con las calculadas ir

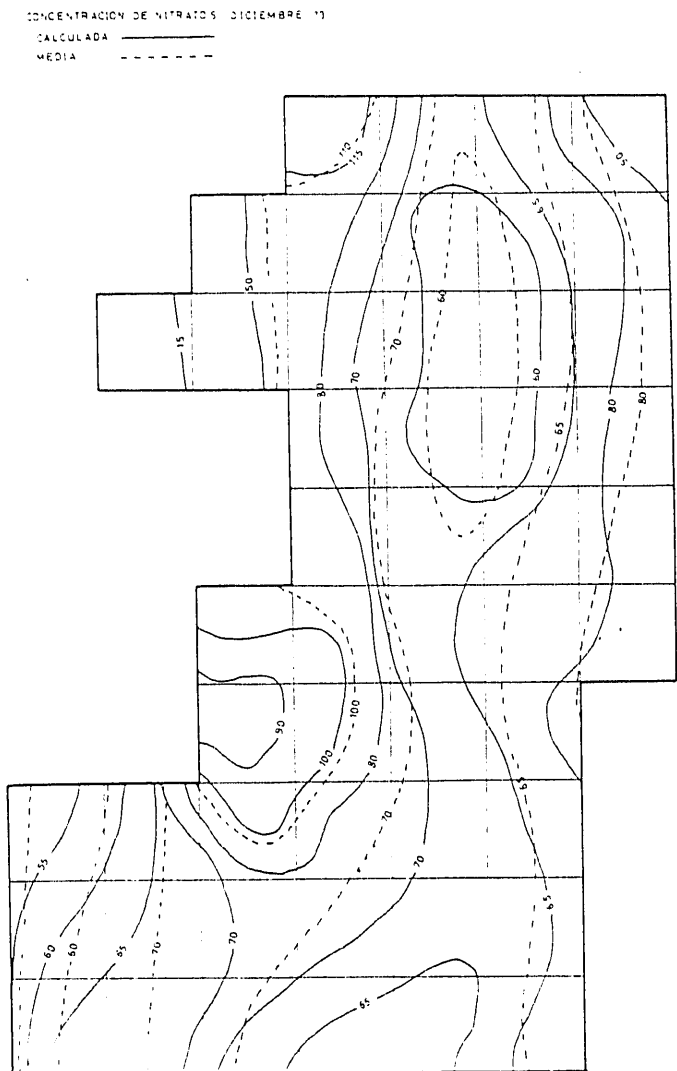


Figura 3.

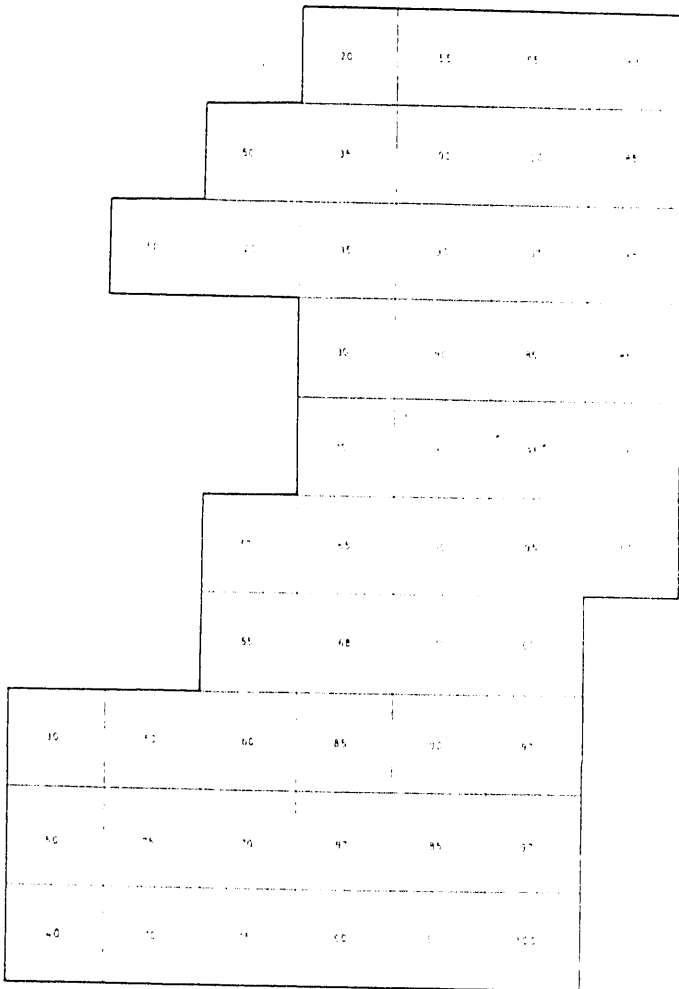


Figura 4.

ajustando los valores adecuados del coeficiente de pérdidas. Un ejemplo del grado de ajuste obtenido, puede verse en la figura 3, y los valores finales de coeficiente de pérdidas en cada celda en la figura 4.

6. SIMULACION Y PREVISIONES

Conocidos los parámetros hidrogeológicos del acuífero y el coeficiente de pérdidas que, en este caso, define el ciclo terrestre del nitrógeno, puede efectuarse la simulación para la cual se hizo la hipótesis básica de que todas las entradas al modelo tomaban mensualmente, como valor, la media de los valores tomados en ese mismo mes durante los cinco años del período de calibración. Como única excepción a esta hipótesis se consideraron variables aquellos factores que evolucionan con la población como son los bombeos de abastecimiento y los aportantes de nitratos de las aguas residuales, para lo cual se utilizó el estudio realizado por la Corporación

Metropolitana del Gran Valencia que preve la evolución de la población hasta el año 2000.

De acuerdo con las hipótesis anteriores se simuló, hasta octubre de 1999, estando representadas las líneas de isoconcentración correspondientes a dicho período de tiempo, en la figura 5, en la que puede observarse que son superados ampliamente los 30 mgr/l en toda la zona y los 90 mgr/l en buena parte de ella.

7. ALTERNATIVAS

Dado que puede preverse, según 6, un crecimiento sistemático de las concentraciones, se simularon algunas posibles alternativas con el criterio básico de que las variables de decisión asociadas a cada una de ellas, se encontrarán en el interior de la zona.

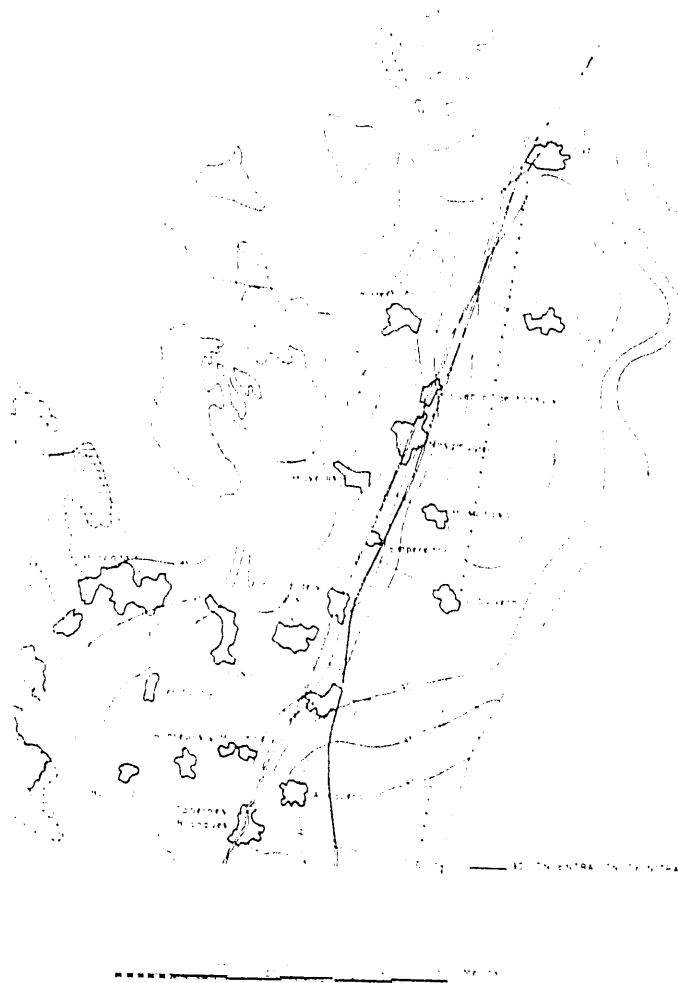


Fig. 5.—Predicción. Líneas de isoconcentración. Octubre 1999.

