

# Aplicación del modelo paramétrico de vulnerabilidad Drastic en el tramo terminal del río Torderá

*Application of the vulnerability Drastic parametric model to the terminal stretch of Torderá river*

R.Spandre; N. Gemignani; G. Giacobbe; F.P. Nicoletti; P. Pardini

Dipartimento Scienze della Terra; Via S.Maria, 53; 56126 Pisa; Italia

## ABSTRACT

The parametric model Drastic (acronym of *Deep water; Recharge, net; Aquifer media; Soil media; Topography; Impact of vadose zone; Conductivity, hydraulic*) is applied to the terminal stretch of Tordera River (in the Catalan Region, next to Blanes and Malgrat de Mar) to evaluate the risk of pollution of the underground water. The total area examined, which is covered by a principal aquifer composed of gravel and sands, is divided into more than 700 square cells with a side of 125 m long. It is calculated the vulnerability index PP for each cell, and the whole studied area, on the base of the PP value, is subdivided into 2 classes of risk: a big sector of moderate risk and a small sector of elevated risk.

**Key words:** Parametric model, pollution, underground water, Torderá river, Catalonia

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1721-1724  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La vulnerabilidad intrínseca de un acuífero, es decir la vulnerabilidad que depende exclusivamente de parámetros naturales, es función de tres procesos físico-químicos que suceden en el sistema «zona edáfica - zona no saturada - zona de saturación»: 1) desplazamiento de contaminantes a través de la zona no saturada; 2) concentración residual de contaminantes en la zona saturada; 3) dinámica del flujo subterráneo en la zona saturada.

El proceso de atenuación que se desarrolla en el sistema acuífero respecto a la presencia de un contaminante depende de la reactividad del sistema natural.

En los últimos veinte años muchos autores se han enfrentado con el problema de la realización de mapas de vulnerabilidad que sean capaces de describir, adecuadamente y con un cierto rigor, estos parámetros. Hoy en día se han desarrollado principalmente tres tipos de evaluaciones.

1. Evaluación por complejos y situaciones hidrogeológicas. Con éste método se suelen superponer distintos mapas vectoriales, cada uno de los cuales indica la variación en el espacio de cada parámetro.

2. Evaluación por sistemas paramétricos. El sistema se basa en la evaluación de distintos parámetros físicos medibles efectivamente en el campo.

3. Evaluación por modelos numéricos. El método se basa en la evaluación de un índice de vulnerabilidad basado en idealizaciones comple-

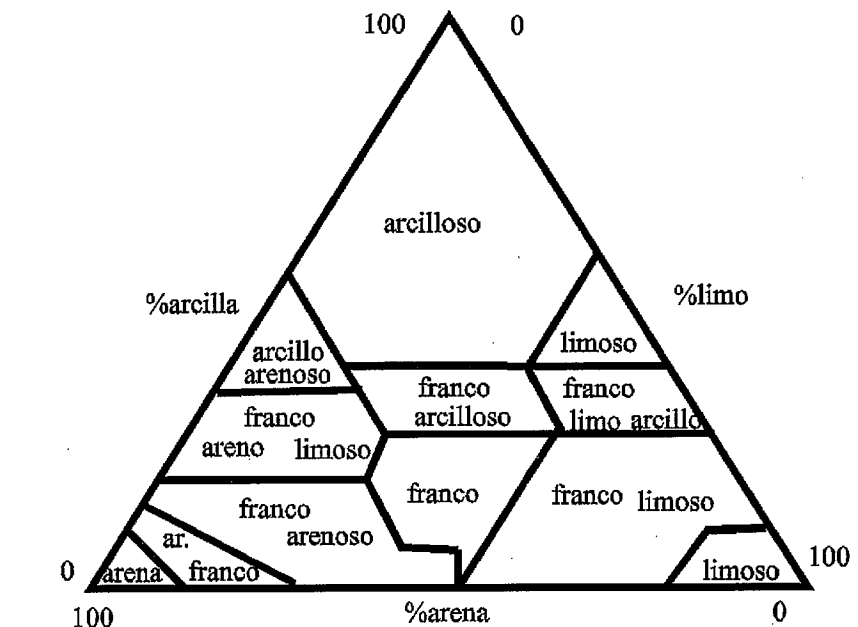


Fig. 1.- Diagrama ternario de clasificación de suelos

Fig. 1.-Ternary diagram classificative of soils

jas de los fenómenos naturales que ocurrieron en la zona.

El método con más amplia difusión es, sin duda, el segundo (evaluación por sistemas paramétricos), el cual, a su vez se divide (Civita, 1994) en:

Sistema de matriz (MS)

Sistema de tanteo sencillo (RS)

Sistema de tanteo y pesos (PCSM)

Sistema de evaluación de impacto ambiental (EES)

En el sistema PCSM uno de los métodos más difundidos es el método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), que en este trabajo ha sido aplicado

Profundidad del acuífero (m)	Puntuación
0 - 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9,0	7
9,0 - 15,0	5
15,0 - 22,5	3
22,5 - 30,0	2
> 30,0	1

Tabla 1: Valores de intensidad del factor D

Table 1: D factor's intensity values

Recarga neta del acuífero (mm)	Puntuación
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 250	8
> 250	9

Tabla 2: Valores de intensidad del factor R

Table 2: R factor's intensity values

Medio acuífero	Puntuación
Arcillas y margas compactas	1 - 3
Rocas ígneas y metamórficas inalteradas	2 - 5
Rocas ígneas y metamórficas alteradas	3 - 5
Alternancias de margas, areniscas y calizas	5 - 9
Areniscas compactas	4 - 9
Calizas compactas	4 - 9
Gravas y arenas	4 - 9
Basaltos	2 - 10
Calizas karstificadas	9 - 10
Factores relativos de atenuación de la contaminación para los principales tipos de acuíferos. Las categorías han sido repartidas según: a) longitud y sunuosidad de las líneas de flujo b) potencial general de absorción c) dispersión d) reactividad e) grado de fracturación Los factores principales que controlan la puntuación por cada tipo de roca son: 1. Reactividad (solubilidad y fracturación) 2. Fracturación 3. Longitud y forma del recorrido; absorción; dispersión; parámetros determinados principalmente por la granulometría, la absorción y la compactación 4. Longitud y recorridos determinados por la estratificación y fracturación 5. Absorción y dispersión 6. Fracturación; longitud y recorrido determinados por las relaciones intergranulares 7. Reactividad (solubilidad) y fracturación 8. Fracturación y absorción	

Tabla 3: Valores de intensidad del factor A

Table 3: A factor's intensity values

al tramo final del río Torderá.

**Descripción geológica y hidrogeológica**

El área examinada está situada entre las provincias de Barcelona y Girona. La totalidad de la cuenca del río Torderá, comprendida entre los 40° y 41°50' de latitud y los 2°10' y 2°50' de longitud, ocupa una superficie total de 894 Km<sup>2</sup> y tiene su cota más alta a los 1712 metros sobre el nivel del mar. El río tiene su origen en el macizo del Montseny y desemboca en el mar Mediterráneo entre las localidades de Malgrat de Mar y Blanes. La cuenca del río Torderá se ubica en el Sistema Costero Catala, que, a su vez, está formado por dos cordilleras: la Cordillera Prelitoral y la Cordillera Costera. Dichos relieves, formados por el plegamiento de un antiguo macizo hercínico, están constituidos predominantemente por un zócalo paleozoico y una cobertera mesozoica-terciaria. Una gran fosa tectónica, la De-

presión Prelitoral, con el eje orientado en dirección NE-SO, paralelo a la costa, separa las dos cordilleras.

A lo largo de su curso, el río atraviesa la Cordillera Prelitoral (curso alto), el extremo norte de la Depresión Prelitoral (curso medio) y la Cordillera Costera (curso bajo). En la parte mas baja del curso del río los aluviones recientes están rodeados por un gran batolito, formado principalmente por granitos y granodioritas. Los aluviones se desarrollan superficialmente en el punto de estrechamiento del valle, cerca de Fogars de Torderá, donde alcanzan los 150 metros de anchura, hasta la desembocadura al mar, donde alcanzan una anchura de 5000 metros. Estos aluviones ocupan una superficie de unos 21 Km<sup>2</sup>, y sobre ellos están ubicados la mayoría de los pozos de toda la cuenca.

Se individualizan dos acuíferos: un acuífero libre que se extiende de Fogar de Torderá hasta Palafoills; y un acuífero multicapa que se extiende de Palafoills hasta el mar.

a) Acuífero libre. Litológicamente está formado por niveles de gravas, con cantos de grandes dimensiones, y arenas; hay también, intercalados, niveles de arcillas y arenas finas con un desarrollo discontinuo y de escaso espesor. Estos sedimentos se apoyan en discordancia sobre un substrato granítico más o menos alterado.

b) Acuífero multicapa. Está compuesto por varios horizontes de gravas y arenas, con intercalaciones de niveles arcilloso - arenosos que aumentan su espesor al acercarse al mar. Estas intercalaciones no impiden la comunicación hidráulica entre los diferentes niveles del acuífero.

**Descripción del modelo DRASTIC**

El modelo DRASTIC se puede describir en manera sintética ilustrando la metodología en la cual se basa y el significado de cada uno de los parámetros que componen el acrónimo (las tablas que siguen a continuación proceden de los trabajos de Aller *et al.*, 1987; Persicani *et al.*, 1991; Civita, 1994 con algunas modificaciones).

1) **D** (Deep water), profundidad del acuífero con respecto al nivel del suelo; representa el espesor de los depósitos que el flujo contaminante tiene que atravesar antes de alcanzar el acuífero. La puntuación que se debe asignar a cada intervalo de profundidad es la que figura en la tabla 1.

2) **R** (Recharge, net), recarga neta; representa la infiltración eficaz por unidad de superficie, osea el volumen de agua meteórica que se infiltra en el suelo por unidad de superficie, al neto de las perdidas por escorrentía superficial y por evapotranspiración. El valor de los intervalos representativos y las puntuaciones relativas se muestran en la tabla 2.

3) **A** (Aquifer media), medio acuífero; representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes. Las puntua-

ciones relativas a las distintas litologías son las que figuran en la tabla 3. Considerando que la puntuación correspondiente a cada litología posee un intervalo de variación que, a veces, es muy amplio se ofrece una serie de consideraciones para decidir de la mejor manera cual de los intervalos debe ser considerado.

4) **S** (Soil media), características del terreno; representa la capacidad de los suelos de oponerse a la movilización convectiva y/o difusiva de las sustancias contaminantes. En la tabla 4 se indican los diferentes tipos de suelos y las puntuaciones relativas. Se ofrece además un diagrama triangular ALAR (Arcilla - Limo - Arena) para simplificar la elección del tipo de suelo (Fig. 1).

5) **T** (Topography), topografía del área; representa la pendiente de la superficie topográfica, según la cual se acelera o decelera el flujo superficial. Las puntuaciones relativas a cada clase aparecen en la tabla 5.

6) **I** (Impact of vadose zone), características de la zona no saturada; representa la capacidad del suelo a obstaculizar el transporte vertical. En la tabla 6 están recogidas las puntuaciones relativas a las distintas litologías. Como en el parámetro A también se ofrecen unos criterios para permitir una elección más apropiada de las puntuaciones relativas a cada litología.

7) **C** (Conductivity, hydraulic), conductividad hidráulica del acuífero; representa la capacidad del acuífero a transmitir horizontalmente las sustancias contaminantes. Las puntuaciones aplicables en cada intervalo figuran en la tabla 7.

El nivel de contaminación para cada zona en que ha sido dividida el área, se calcula multiplicando cada parámetro, por un valor definido con antelación (peso), que puede variar (tabla 8) según el uso mas o menos elevado de fitofármacos en la zona considerada. El índice de vulnerabilidad (PP) se extrae mediante la suma de los productos de cada puntuación (r) por el peso relativo (w):

$$PP = Dr \cdot Dw + Rr \cdot Rw + Ar \cdot Aw + Sr \cdot Sw + Tr \cdot Tw + Ir \cdot Iw + Cr \cdot Cw$$

El mapa final será generado escogiendo un intervalo de los valores PP al cual será asignado un valor de «riesgo» según los criterios expuestos en la tabla 9.

**Organización de la información geográfica**

Para la construcción de las cartas temáticas se ha preferido una aproximación de tipo celular, en la cual la información es discretizada asociando a cada una de las celdas de la malla en que la zona esta dividida un solo valor del indicador. El uso del plano celular disminuye la resolución de la información (que se vuelve discontinua) pero simplifica mucho la elaboración numérica y, sobre todo, la confrontación entre distintos mapas.

La calidad de la información depende en este

Tipo de suelo	Puntuación
suelo delgado o ausente	10
suelo de gravas	10
suelo arenoso	9
suelo turboso	8
suelo arcilloso fisurado	7
suelo franco - arenoso	6
suelo franco	5
suelo franco - limoso	4
suelo franco - arcilloso	3
suelo arcilloso a muck superficial	2
suelo arcilloso compacto	1

Tabla 4: Valores de intensidad del factor S

Table 4: S factor's intensity values

Pendiente topográfica (%)	Puntuación
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

Tabla 5: Valores de intensidad del factor T

Table 5: T factor's intensity values

Impacto de la zona de transición	Puntuación
Limos y arcillas	1 - 2
Argilitas y margas	2 - 5
Calizas	2 - 7
Areniscas	4 - 8
Alternancias de margas, areniscas y calizas	4 - 8
Gravas y arenas mixtas con limos arcillosos	4 - 8
Rocas ígneas y metamórficas	2 - 8
Gravas y arenas	6 - 9
Basaltos	2 - 10
Calizas karstificadas	8 - 10
<b>Acción de los litotipos principales que forman la zona no saturada. Las categorías han sido subdivididas según:</b>	
a) longitud y sinuosidad del recorrido	
b) potencial de dispersión y dilución correspondiente	
c) reactividad (solubilidad)	
d) absorción global	
e) fracturación	
<b>Principales factores de control de las puntuaciones (los números corresponden a los de los principales medios elencados):</b>	
1. Absorción global y fracturación	
2. Fracturación y reactividad	
3. Fracturación; longitud y sinuosidad del recorrido determinadas por las relaciones intergranulares	
4. Fracturación; longitud y sinuosidad del recorrido determinadas por la estratificación, absorción y reactividad	
5. Longitud y sinuosidad del recorrido determinadas por la estratificación, granulometría, absorción y compactación	
6. Longitud y sinuosidad del recorrido determinadas por la granulometría, absorción y compactación	
7. Reactividad y fracturación	

Tabla 6: Valores de intensidad del factor I

Table 6: I factor's intensity values

Conductividad hidráulica (cm·s <sup>-1</sup> )	Puntuación
5,0 · 10 <sup>-5</sup> - 5,0 · 10 <sup>-3</sup>	1
5,0 · 10 <sup>-3</sup> - 1,5 · 10 <sup>-2</sup>	2
1,5 · 10 <sup>-2</sup> - 3,5 · 10 <sup>-2</sup>	4
3,5 · 10 <sup>-2</sup> - 5,0 · 10 <sup>-2</sup>	6
5,0 · 10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-1</sup>	8
> 10 <sup>-1</sup>	10

Tabla 7: Valores de intensidad del factor C

Table 7: C factor's intensity values

Parámetro	Pesos asignados en áreas con fitofármacos	Pesos asignados en condiciones normales
D	5	5
R	4	4
A	3	3
S	5	2
T	3	1
I	4	5
C	2	3

Tabla 8: Valores de ponderación

Table 8: Weight's values

26-71	Riesgo de contaminación muy bajo
72-117	Riesgo de contaminación bajo
118-163	Riesgo de contaminación moderado
164-209	Riesgo de contaminación elevado
210-256	Riesgo de contaminación muy elevado

Tabla 9: Clases de riesgos

Table 9: Hazard's classes

caso de las dimensiones de la celda elemental y de la variabilidad del indicador respecto a la medida de la celda. Por lo que concierne la atribución del valor de las celdas se ha escogido el valor relativo a la superficie vectorial que cubre más del 50 % de la celda.

**Adquisición de datos y resultados**

Las campañas de medida de los niveles piezométricos y las tomas de muestras efectuadas en el periodo 94/95 (Giacobbe, 1995), determinaron la situación actual de los niveles de falda; los valores encontrados permitieron la realización de dos mapas piezométricos, el primero para el mes de noviembre y el segundo correspondiente al

mes de mayo; en la construcción del mapa temático del parámetro D (profundidad del acuífero) fueron utilizados los datos de la campaña de noviembre, que dio valores de D mas reducidos.

Para la valoración de la recarga activa R se han utilizado los datos de un estudio realizado anteriormente por Candela y Galofre (1985).

Para la determinación de la litología del acuífero A se ha utilizado el mapa geológico integrado por un trabajo de campo; de este modo se ha podido determinar la existencia de unos niveles lenticulares de gravas y arcillas englobados en una formación predominantemente arenosa.

El parámetro S ha sido calculado mediante el mapa topográfico 1:10000 del Instituto Cartográfico de la Generalitat de Cataluña, algo defici-

tario en lo que se refiere a vías de comunicaciones y centros habitados. La llanura del delta del Torderá, de todas formas, esta caracterizada por áreas muy edificadas, y por una casi total ausencia de suelo. La gran mayoría de la parte derecha del delta está sometida a cultivos intensivos y, por esta razón, se han considerado para estas zonas los valores DRASTIC relativos a un suelo orgánico.

La topografía (T) de la zona nunca supera los valores de 4 por mil de pendiente; por lo tanto el valor del parámetro correspondiente ha sido constante y máximo (10) en toda el área.

Vista la coincidencia de la litología de la zona no saturada con la litología del acuífero, el parámetro I tiene el mismo valor del parámetro A.

La permeabilidad (C) ha sido evaluada gracias a un estudio de Candela (1986), orientado a la recogida de datos para la construcción de un modelo matemático de flujo.

En cada una de las celdas se ha asignado por cada parámetro un valor multiplicador de una u otra de las columnas de tabla 8 según las condiciones relevadas de uso de fitofármacos; de todas formas en la zona del delta del río Torderá no hay muchos indicios de uso de fitofármacos.

**Conclusiones**

Los resultados aparecen en el mapa de la fig. 2. Confrontando los símbolos del mapa con los valores de FP de la tabla 9, podemos afirmar que la mayoría del área considerada en el presente estudio resulta estar expuesta a un factor de riesgo moderado. Solamente en algunos sectores costeros, cerca de Malgrat de Mar y Blanes, y en una zona al sureste de la localidad de Torderá, donde está la fábrica de Fibracolor, el riesgo pasa a ser elevado.

**Referencias**

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J.; Hackett, G. (1987): *Drastic: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. NWWA/EPA Ser., 600/2-87-035., 455 pp.  
 Candela, Galofre (1985): C.I.H.S.  
 Candela (1986): C.I.H.S.  
 Civita, M. (1994): *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, teoria e pratica*. Pitagora Editrice Bologna, 325 pp.  
 Ciacobbe G. (1995): *Studio idrogeologico della parte terminale del fiume Tordera: indagine sulla vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento e valutazione dell'impatto ambientale mediante un modello matematico di dispersione degli agenti inquinanti*. Università degli Studi di Pisa, Tesis inédita.  
 Persicane, D.; De Santi, M.; Gasparetti, G.; SIRO, P. (1991): *Geologia Tecnica*, 2/91: 41-47.