

El concepto de riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Un análisis de sus perspectivas y alcances

Hector E. Massone

Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario- FCEN-UNMdP. Funes 3350, 7600 Mar del Plata, Argentina.

Mail de contacto: hmassone@mdp.edu.ar

RESUMEN

El riesgo de contaminación del agua subterránea resulta de la combinación de la peligrosidad del proceso y el daño que él puede producir. A pesar de este concepto, aceptado globalmente, existen numerosas aproximaciones a su evaluación y diferentes desafíos en la metodología. El objetivo de este trabajo es discutir el marco teórico y evaluar aproximaciones metodológicas vinculadas a dicho riesgo, desde la perspectiva de la gestión ambiental del territorio especialmente en América Latina. Para ello se recurre a la propia experiencia de trabajo y a la bibliografía latinoamericana sobre el tema. Se concluye que los objetivos, recursos disponibles e información previa definirán para cada caso qué aproximación metodológica tomar y hasta dónde profundizarla. La evaluación del riesgo es un proceso complejo, en el cual se ponen a prueba calidad técnica, el equipo humano y la creatividad para enfrentar los problemas durante su ejecución.

Palabras clave: riesgo, contaminación, agua subterránea, gestión.

ABSTRACT

The risk of groundwater contamination resulting from the combination of the hazard of the process and the damage it can cause. Although this concept is globally accepted, there are numerous approaches to their evaluation and different challenges in the methodology. The aim of this paper is to discuss the theoretical and methodological approaches to assess the risk from the perspective of environmental land planning, especially in Latin America. This is done on the professional experience and the Latin American literature on the subject. We conclude that the objectives, resources and background information for each case define what methodological approach to take and how far deep in. Risk assessment is a complex process, which are tested technical quality, the team and the creativity to face problems during its implementation.

Keywords: risk, contamination, groundwater, management

Introducción

En América Latina y el Caribe, el agua subterránea es un recurso vital que desempeña un papel estratégico cada vez más importante para el desarrollo sostenible. Este será más importante aún en los próximos años, a medida que la escasez de agua y el incremento de las fluctuaciones y la variabilidad climática se conviertan en preocupaciones mundiales significativas (Miletto, 2010).

Si bien el agua es un recurso natural esencial para la vida, también se puede verificar su caracterización como amenaza en dos aspectos esenciales: los fenómenos de inundación y los problemas potenciales a la salud a partir de la contaminación; así los conceptos de impacto y de riesgo están siempre presentes en esta dimensión de la relación Sociedad-Naturaleza (Massone y Martínez, 2008).

El objetivo de este trabajo es discutir el marco teórico y evaluar aproximaciones

metodológicas vinculadas al proceso de evaluación del riesgo de contaminación de acuíferos desde la perspectiva de la gestión ambiental del territorio y con énfasis en América Latina.

Desarrollo

El concepto de riesgo se construye a partir de la interacción entre la peligrosidad o amenaza y el daño. La primera variable se define como la probabilidad (o posibilidad) de que ocurra, en determinado tiempo y espacio, un evento natural potencialmente dañino; es decir, constituye una variable propia del sistema natural o biofísico y es "externa" al sujeto bajo riesgo. El daño, implica una pérdida en vidas, salud, bienes, una afectación (directa o indirecta, tangible o intangible) y está en relación estrecha con la vulnerabilidad que la población expuesta tiene ante ese fenómeno. Gilbert White y sus colegas en los Estados Unidos fueron los primeros en postular en forma explícita que los desastres no son sinónimo de

las amenazas naturales. White expuso (sin utilizar exactamente esta misma terminología) que el riesgo a sufrir un desastre dependía no sólo de la magnitud de la amenaza natural como tal sino de la vulnerabilidad de la sociedad expuesta a la amenaza (Lavell, 1997). Por otra parte, ha sido ampliamente mostrado que la distribución de riesgos y daños involucra una desproporcionada cuota o severidad de pérdidas entre aquellos que ya están relativamente debilitados, empobrecidos u oprimidos. La vulnerabilidad diferencial de personas dentro de y entre sociedades surge, especialmente, de forzadas o no resueltas desventajas sociales (Hewitt, 1996).

El riesgo de contaminación del agua subterránea resulta, entonces, de la combinación de la peligrosidad que presenta ese proceso y el daño que él puede producir; a diferencia de otros procesos naturales, no se trata de un proceso recurrente (como el caso de las inundaciones, por ejemplo) sino que la mayoría de las veces responde a eventos que pueden ser puntuales o difusos, tanto en la variable tiempo como en el espacio o territorio. Es decir, podría ser considerado como un riesgo de tipo "inducido" o mixto antes que un riesgo natural propiamente dicho. El hecho de estar abordando un problema potencial en un determinado territorio, una posibilidad futura, nos enfrenta a tres aspectos esenciales ligados estrechamente al concepto de riesgo: dos ya mencionados, las variables temporal y espacial, y la incertidumbre.

En situaciones donde existe una importante cantidad de población que no es servida por agua de red, que a menudo también carece de sistemas de alcantarillado y que se abastece de perforaciones domiciliarias de diverso tipo, lograr una evaluación del riesgo de contaminación es esencial para la gestión ambiental del territorio, para las políticas públicas relacionadas con el agua y el saneamiento y para prevenir, evitar o minimizar problemas de salud. Existen al menos dos grandes grupos de aproximaciones para lograr esta meta: la primera es la de tipo "ecotoxicológico", línea más afín a lo cuantitativo, a lo probabilístico, que puede ser bien representada a partir de cuatro etapas (NCR, 1994):

- 1) Identificación de la fuente del peligro
- 2) Evaluación de la exposición
- 3) Evaluación dosis – respuesta
- 4) Caracterización del riesgo

La segunda aproximación, que es la que se desarrollará en este trabajo, es la que podría denominarse como de tipo "territorial

cuantitativa"; metodológicamente utiliza al mapa como herramienta esencial de comunicación y de interpretación de resultados y se basa en 5 premisas:

- 1) evaluar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.
- 2) evaluar la carga contaminante (real o potencial, única o múltiple).
- 3) combinar las dos anteriores para evaluar la peligrosidad de contaminación
- 4) evaluar la vulnerabilidad de la población expuesta (como manera de aproximarnos al daño)
- 5) Combinar 3) y 4) a fin de evaluar el riesgo de contaminación.

Algunas consideraciones generales previas a discutir cada uno de estos pasos son las siguientes:

a) se puede observar el uso reiterado del término "evaluar" y esto tiene una importante connotación ya que evaluar implica poner valor, valorar y las valoraciones siempre tienen una carga importante de subjetividad; esta subjetividad puede surgir desde diferentes ángulos, es decir, puede vincularse con la disciplina en la que el evaluador es especialista o bien por su posición personal (filosófica, cultural) frente al problema en cuestión, o bien por directivas surgidas del objetivo del trabajo o de la disponibilidad de tiempo y/o medios económicos. En definitiva, el riesgo no se "mide", se evalúa: sí se miden indicadores o parámetros pero el resultado final surge de un proceso de evaluación ad-hoc. Por ello este tipo de trabajos debería ser desarrollado por un equipo de trabajo antes que por un único técnico.

b) el uso del mapa en todos los casos potencia la posibilidad de lograr una comunicación efectiva, especialmente entre los técnicos que generan esta información y los tomadores de decisión. Por otra parte permite utilizar las potencialidades que actualmente tienen los sistemas de información geográfica (SIG), especialmente para combinar y actualizar datos e información.

c) todo el proceso anterior está imbricado por posibles instancias de toma de decisión; es claro que contar con un mapa de vulnerabilidad del acuífero o bien de características socio-económicas de la población puede contribuir a la toma de decisiones pero también es claro que son las instancias de mayor incertidumbre (descartando por supuesto la instancia de toma

de decisión en ausencia total de información). La instancia a partir de un mapa de peligrosidad, nos reduce la incertidumbre ya que no solo tomamos en cuenta la vulnerabilidad del acuífero sino que la combinamos con la carga contaminante (real o potencial) atendiendo así a situaciones donde, por ejemplo, coinciden en la misma porción de territorio una vulnerabilidad del acuífero alta o muy alta con un uso del suelo implica carga contaminante muy baja o insignificante o viceversa. La toma de decisión en donde se contempla el riesgo de contaminación permite combinar los factores o procesos del medio físico con los del medio social (en tanto capacidad de respuesta de la sociedad), atendiendo así a situaciones de asimetría como la explicitada anteriormente.

d) un aspecto fundamental es definir la unidad territorial de análisis. Es decir, cuál será las unidades elementales en las que se fraccionará el territorio en estudio y sobre las cuales se ejecutará la evaluación. Las posibilidades son numerosas, dependiendo del objetivo que tenga el estudio, aunque una de las más utilizadas actualmente es la de celdas o grilla de diferente superficie, en un proceso de rasterización del territorio que hoy se realiza de manera automatizada; en cada una de esas celdas, entonces se ejecutará la evaluación; otra posibilidad es utilizar límites administrativos (por ejemplo radios censales utilizados para los censos nacionales de población y vivienda) o bien cuencas hidrográficas si el trabajo es de características regionales.

e) la preparación de mapas se basa en la asignación de etiquetas cualitativas (bajo, alto, etc.); éstas pueden ser 3 o 5 que es lo más usual. Utilizar 5 categorías implica algo más de precisión, ya que permite discriminar los extremos (alto y bajo) en dos niveles (alto y muy alto, bajo y muy bajo). La utilización de una u otra dependerá, entre otros aspectos, de la necesidad de distinguir en los extremos la peor o la mejor situación y de la disponibilidad de información que permita que esta discriminación tenga significado en la práctica. En todos los casos la categoría intermedia (denominada usualmente moderada) debería ser lo más restringida posible en su expresión territorial ya que es, sin duda, la más imprecisa. De la misma manera no debe olvidarse que la connotación explícita o implícita de rótulos como “muy bajo” pueden llevar al descuido y que rótulos como “alto” o “muy alto” tienden a ser restrictivos; el equilibrio entre necesidad de protección del recurso y necesidad de llevar a cabo actividades productivas en el territorio, es dinámico,

inestable y en ocasiones muy difícil de conseguir.

1) Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero

El concepto de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación fue introducido en los '60 por Margat (Margat, 1968); desde esos años hubo diversos intentos para poder establecer una metodología de evaluación de esa vulnerabilidad y su consecuente representación en un mapa, siendo desde mediados de los '80 cuando éstas toman más ímpetu. Los métodos más ampliamente utilizados son los denominados de “rating” y de “sumas ponderadas” o bien “suma de conteos por puntos” (Vrba y Zaporocec, 1994). Dos de las pioneras son las metodologías denominadas DRASTIC (Aller et al., 1987) y GOD-GODS (Foster e Hirata, 1988; Foster et al., 2002). Desde aquellos años, se considera que resulta de central importancia para el desarrollo de estrategias de protección de acuíferos dimensionar y delimitar espacialmente áreas de diferente vulnerabilidad a la contaminación. Vrba y Zaporocec (1994) definen a la vulnerabilidad como una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales. En los últimos 20 años se han generado otras metodologías, con distintas aplicaciones específicas largamente analizadas y testeadas en diferentes ámbitos (Auge, 2004). Obviamente, la elección definitiva de la metodología a adoptar en un determinado trabajo dependerá del objetivo del mismo y, esencialmente, de la disponibilidad y tipos de datos que se tienen. Numerosos son los trabajos que han usado diferentes escalas y diferentes fuentes de información de base en la aplicación de estas metodologías (Segura et al., 2005). O bien incorporando el uso del suelo (Secunda et al., 1998) o para adaptarlo a zonas urbanas (Coello et al., 2002), aplicado a acuíferos transfronterizos (Ertel et al., 2012), o bien a zonas litorales marinas (González et al., 2012); también métodos adaptados a acuíferos cársticos o a otras situaciones específicas (Márquez et al., 2006); son frecuentes, además, los trabajos de comparación entre metodologías, por ejemplo Albouy y Bonorino (1998), Espinoza y Ramírez (2002), Montaña Xavier et al. (2003), Valcarce y Rodríguez (2004), Olarte et al. (2012), entre otros. Algunos problemas de los métodos de estimación de la vulnerabilidad radican en la dificultad para el chequeo y modelización del proceso de contaminación en un sistema complejo como es el acuífero, lo que obstaculiza, en gran parte, la

posibilidad de elaboración y calibración de los métodos (Vías et al., 2003); tras la aplicación y análisis de distintos métodos consensuados de evaluación de la vulnerabilidad, observaron el problema de la utilización frecuente de variables redundantes, lo que repercute en una reducción de la variabilidad potencial de los resultados y en la obtención de mapas muy homogéneos. Otro problema frecuente es la homogeneidad territorial en el resultado de la evaluación (por ejemplo un 85% del territorio en estudio bajo la misma categoría) lo que no permite discriminar áreas de diferente vulnerabilidad por lo que resulta de poca utilidad para la toma de decisiones; en muchos casos, para agravar aún más esto, la categoría predominante es la "moderada" que a todas luces resulta la de mayor incertidumbre en cuanto a su interpretación (Fig. 1); esto ha llevado a indagar en otros procedimientos para determinar, a partir de la serie de datos, clases de vulnerabilidad mediante el uso de cuartiles, cortes naturales, varianza y otros (Fig. 1), (Massone et al., 2007), o bien mediante la sustitución del concepto de clases de vulnerabilidad por el de prioridades de intervención (Massone et al., 2010).

Otro aspecto de discusión muy interesante es el planteado por la conveniencia de elaborar mapas de vulnerabilidad intrínseca (una vulnerabilidad genérica dada por la conformación geomorfológica del acuífero a la que se pueden sumar aspectos climáticos, parámetros hidráulicos, etc.; es la clásica evaluación de vulnerabilidad) o específica (aquella vulnerabilidad referida a un determinado contaminante o grupo de contaminantes). Es cierto que el acuífero puede resultar muy vulnerable a algún tipo de contaminantes y menos vulnerable a otro, pero también es cierto que si se debe elaborar un set de mapas de vulnerabilidad para todos los contaminantes posibles, su utilidad como herramienta de toma de decisiones disminuye notablemente. Por ello, se prefiere (a menos que haya una indicación muy específica) trabajar con la vulnerabilidad intrínseca.

2) Evaluación de la carga contaminante

Resulta muy práctico y razonable vincular de manera directa la carga contaminante con el uso del suelo; salvo que el objetivo del trabajo sea muy específico y referido a una carga contaminante en particular, un relevamiento del uso del suelo en el territorio bajo estudio puede aportar mucho a la identificación de cargas contaminantes (al menos potenciales).

Zaporocec (2004) indica que existen 3 fases en este trabajo; el diseño del inventario (qué, cómo, cuándo, dónde relevar), su implementación (por métodos indirectos y directos) y la evaluación y análisis de los resultados que conduce a la elaboración definitiva del mapa de uso del suelo. En este sentido, metodologías de relevamiento de uso del suelo a través de teledetección, como CORINE Land Cover han resultado ser de mucha utilidad, en especial por su desarrollo a diferentes niveles de detalle (Massone et al., 2011). En la Fig. 2, se muestra, para un área piloto (Cuenca del Arroyo Pantanoso, Prov. de Buenos Aires), la identificación de usos del suelo a nivel 3 de CORINE Land Cover.

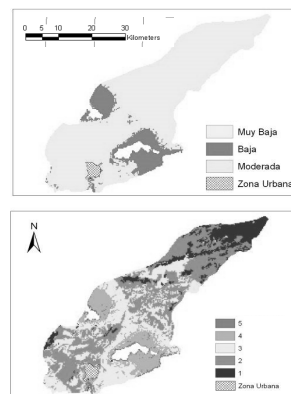


Figura 1. Mapas de vulnerabilidad del acuífero; a: metodología DRASTIC, clasificado por intervalos iguales; b: DRASTIC reclasificado por cortes naturales. Tomado de Massone et al., 2007.

La asignación de carga contaminante a cada uso puede realizarse de muy variadas maneras, tal como presenta Hirata (2002). Por ejemplo, Zaporocec (2004) propone un modo expeditivo de asignar, a cada uso del suelo, un valor de carga contaminante en tres categorías: alta, moderada, baja. El método POSH (*Pollutant Origin Hydraulic Surchage*) creado por Foster e Hirata (1988) y revisado por Foster et al. (2002) y resulta de la interacción entre el tipo de actividad que se realiza y las características de la carga contaminante. Foster et al. (2002) además, definen cuatro atributos a evaluar: clase (combinación de degradación y retardo); intensidad (combinación de proporción de la recarga afectada y concentración relativa del contaminante; modo de disposición (combinación entre profundidad de la descarga y carga hidráulica) y finalmente, duración

(combinación de probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo y tiempo de descarga) dentro de cada uno de estos 4 atributos de realiza una valoración que oscila entre 0 y 1 (peor situación); el producto de los 4 valores obtenidos en cada unidad territorial de análisis también variará entre 0 y 1 y será el índice de carga contaminante que le corresponde. Rueda y Angel (2004) retoman esta metodología y proponen, además un peso para cada uno de los cuatro atributos, resultando un “índice de carga contaminante” que se obtiene a partir de la suma ponderada de los 4 atributos.

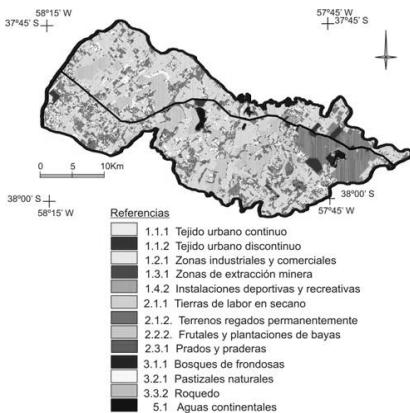


Figura 2. Usos del suelo a nivel 3. Tomado de Massone et al., 2011

Este método también fue utilizado por Gaviria Saldarriaga et al. (2011). Zaporocec (2004) retoma estos cuatro atributos y los combina en dos matrices (matriz de transporte del contaminante y matriz de intensidad de contaminación) a las que combina mutuamente a fin de obtener una matriz final de carga contaminante potencial en tres categorías (alta, moderada, baja). También la posibilidad de desarrollar aproximaciones ad-hoc está abierta y frecuentemente resulta de utilidad. En definitiva se obtendrá un mapa de carga contaminante cuya valoración es usualmente en 3 o 5 categorías (3 categorías, Fig. 3b).

3) Evaluación de la peligrosidad de contaminación

Como ya se ha expresado, la peligrosidad de contaminación (Fig. 3c) surge de la combinación de la vulnerabilidad del acuífero (Fig. 3a) y la carga contaminante (Fig. 3b). Es decir se trata de resolver la matriz vulnerabilidad (V.)-carga contaminante (C.). Esta combinación puede realizarse de manera totalmente

cualitativa definiendo qué categoría corresponde a cada una de las interacciones a través de consulta con expertos (por ejemplo, método Delphi), o bien de manera algo más cuantitativa asignando un valor numérico a cada categoría (usualmente entre 1 y 5, donde siempre el valor más alto debe indicar la peor situación) y efectuando el producto o la suma entre los valores de vulnerabilidad y los de carga contaminante. En el caso de utilizar producto, obviamente, el rango de valores de resultados que se obtendrán será más amplio que si se emplea la suma.

Así, considerando otro ejemplo, podrían asignarse 5 categorías desde muy bajo a muy alto con un valor de 1 a 5 respectivamente y usar el producto para obtener la matriz de peligrosidad. Luego, el rango de valores de resultados es discretizado en 3 o 5 categorías de peligrosidad, asignándole a cada una la etiqueta cualitativa correspondiente; por último, y en general en entorno SIG, se asigna en el mapa final a cada unidad espacial de análisis el valor obtenido. Aproximaciones de este tipo han sido utilizadas por D’Elia et al. (2008), Sagua et al. (2009), Pagliano y Guallini (2012), entre otros.

4) Evaluación de vulnerabilidad de la población expuesta

Como ya se ha comentado, evaluar cuán susceptible resulta la población expuesta resulta una manera indirecta pero eficaz de aproximarse al daño.. Los procesos que hacen a la población más o menos vulnerable son en gran medida iguales a aquellos que generan diferencias en riqueza, control sobre los recursos y poder, tanto nacional como internacionalmente. El concepto de vulnerabilidad es un medio para traducir cotidianos de segregación económica y política de la población en una identificación más específica de aquellos que estarían expuestos al riesgo en ambientes expuestos a amenazas. Así, la cuestión se centra en qué variables utilizar para lograr una evaluación de la vulnerabilidad social. Las posibilidades son muchas y dependerán tanto de la realidad socioeconómica del lugar como de la disponibilidad de información. Una alternativa planteada por Massone y Sagua (2005) es generar un índice “vulnerabilidad contextual”, genérico, cuyas variables son: a) hogares numerosos. b) Viviendas buenas c) densidad de población y d) tasa media de crecimiento anual intercensal; y un índice de “vulnerabilidad específica”, referido a la contaminación por

nitratos, cuyas variables son: a) nivel educativo alcanzado por el jefe de hogar; b) cantidad de niños de 0 a 4 años c) la provisión domiciliar de agua de red y d) la conexión de sanitarios a red pública. Sagua et al. (2009) hacen un revisión de estas variables, reduciendo su número (Fig. 4).

Gaviria Saldarriaga et al. (2011) proponen la construcción de un índice de vulnerabilidad humana a partir de 3 grupos de variables: a) Exposición: aportada por la densidad poblacional; b) Fragilidad socioeconómica: integrada por la cobertura de servicio de acueducto, el nivel educativo, el nivel de ingresos, la cobertura de atención en salud y la cultura ancestral, y c) Falta de resiliencia: definida a partir de la presencia de: programas de ordenamiento territorial y saneamiento; de ecuación ambiental; de prevención y atención de emergencias; existencia de fuentes alternas de abastecimiento; por último, de organizaciones sociales.

Othax (2009), propone un "Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica" integrado por variables relacionadas con educación, salud e ingresos económicos

5) Evaluación del riesgo de contaminación

El paso final en este proceso es combinar la peligrosidad con la vulnerabilidad de la población expuesta para obtener el mapa de riesgo de contaminación. De la misma manera que se explicitó con la peligrosidad, las maneras de hacerlo son variadas. En la línea territorial cualitativa, seguida de este trabajo, la construcción de una tabla Peligrosidad – Vulnerabilidad Social es considerada factible. En el mapa que se muestra como ejemplo (Fig. 5) ha sido posible asignar al territorio 5 categorías de riesgo; pueden observarse, además, las diferencias espaciales existentes en la asignación de categorías: si la toma de decisiones fuera a partir únicamente del mapa de vulnerabilidad del acuífero, todo el sector sur y sudeste del área de estudio, por ejemplo, quedaría con escasa relevancia; sin embargo, exactamente lo contrario sucede al considerar el mapa de riesgo (Fig.5). Con este análisis comparativo puede apreciarse cómo un área que desde la óptica de la vulnerabilidad del acuífero aparece como sin mayores compromisos en lo relativo a contaminación del agua subterránea, desde la perspectiva del riesgo de contaminación es sin duda relevante.

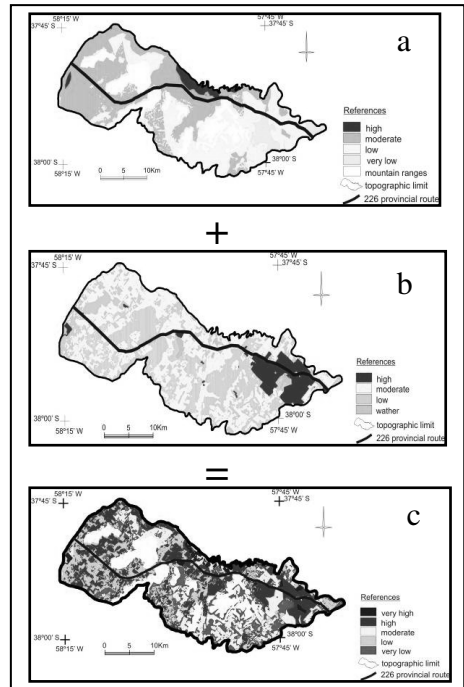


Figura 3. Obtención del mapa de peligrosidad de contaminación. a: vulnerabilidad del acuífero (método DRASTIC), b: carga contaminante potencial (método POSH), c: mapa de peligrosidad de contaminación. Tomado de Sagua et al (2009).

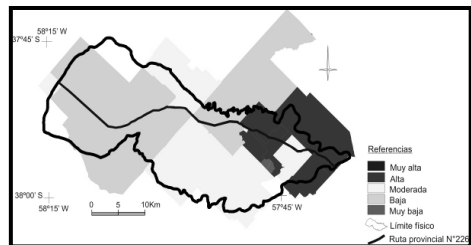


Figura 4. Mapa de vulnerabilidad social. Tomado de Sagua et al (2009)

Conclusiones

El proceso de construcción del riesgo de contaminación de aguas subterráneas mostrado en este trabajo no es el único ni el mejor; es una alternativa que ha demostrado utilidad en especial a la hora de realizar trabajos vinculados a la gestión ambiental del territorio. Los objetivos, recursos disponibles e

información previa definirán, sin duda, y para cada caso qué aproximación tomar y hasta dónde profundizarla. Como reflexión final vale mencionar que realizando este tipo de trabajos estamos generando, de alguna manera, herramientas predictivas; es decir, estamos construyendo un modelo simplificado de la realidad; si se pretende que esta construcción sea aceptable, no debe olvidarse que es imprescindible (como en cualquier actividad de modelación) contar con un modelo conceptual del sistema en estudio lo más acabado posible. Y no se trata solo del modelo físico o hidrogeológico, sino también del modelo socioeconómico. Todo esto hace de la evaluación del riesgo un proceso complejo, un desafío en el cual se ponen a prueba calidad técnica, el equipo humano y la creatividad para enfrentar los problemas que surjan durante su ejecución.

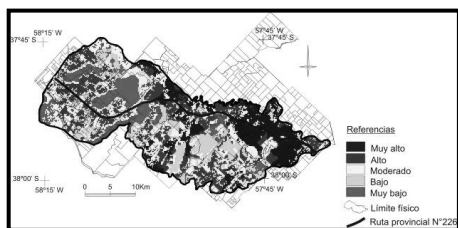


Figura 5. Mapa final de riesgo de contaminación del acuífero. Tomado de Sagua et al. (2009)

Referencias

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. and Petty, R.1985. "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution". Doc. EPA/600/2-85/018, 157 pp.
- Albouy, R. y Bonorino, A.G.1998. "Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero periserrano en la cuenca del Rio Sauce Chico, provincia de Buenos Aires, Argentina". *IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*, Actas 2: 741-748. Montevideo, Uruguay.
- Auge, M. 2004. Vulnerabilidad de Acuíferos. Conceptos y Métodos. E-book, Red Iris.
- Coello, X. y Galárraga, R. 2002. "Metodologías para el análisis de vulnerabilidad de acuíferos en medios urbanos. El caso de Quito, Ecuador". *Procc. IAH Congress*, Mar del Plata, Argentina.
- D'Elia M., Paris M., Perez M., Tujchneider O., Pusineri G. y Gualini, S. 2008. Peligro de contaminación de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos en Santa Fe, Argentina. *IIº Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua*. Actas, Córdoba, Argentina.
- Ertel, T., Lobler, C., y Silvêiro da Silva, J. 2012. "Vulnerabilidade natural das águas subterráneas no município de Rosário Do Sul com uso do método GOD". *XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*. Actas, Cartagena de Indias, Colombia.
- Espinoza, C. y Ramírez J. 2002. Análisis comparativo de técnicas de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos. Aplicación a la zona norte de la ciudad de Santiago. *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancún México,
- Foster, S. e Hirata, R. 1988. Determinación del riesgo de contaminación en aguas subterráneas. CEPIS, Lima, 80 pp.
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M. y Paris, M. 2002. Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial. Washington.
- Gaviria Saldarriaga, J., Betancur Vargas T. y Massone, H. 2011. El riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas; una interacción entre el peligro y la vulnerabilidad humana. *V Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. Actas: 156-164. Salta, Argentina.
- González, L., Montañó, J. y Collazo, P. 2012. Estudio de la vulnerabilidad del sistema acuífero Chuy en el Balneario La Paloma, Departamento de Rocha, Uruguay. *XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*. Actas, Cartagena de Indias.
- Hewitt, K. 1996. Daños ocultos y riesgos encubiertos: haciendo visible el espacio social de los desastres. *Desastres: modelo para armar*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 29 pp.
- Hirata, R. 2002. Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, n.2, p. 81-90,
- Lavell, A. (comp.). 1997. Viviendo en riesgo: Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*.
- Margat, J. 1968. Groundwater vulnerability to contamination. Publication 68, BRGM, Orleans, France.
- Márquez, W., Fernández, N. y Cerón, W. 2006. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en la Parroquia Coquivacoa del Municipio Maracaibo-Estado

- Zulia. *Revista Técnica de Ingeniería*, Univ. Zulia v.29 n.2 Maracaibo, Venezuela
- Massone, H. y Sagua, W. 2005. La Integración de la Vulnerabilidad Social en la Evaluación del Riesgo de Contaminación de Acuíferos. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología*. Actas, 201-210. Río Cuarto, Córdoba.
- Massone, H.; Quiroz Londoño, M.; Tomas, M. y Ferrante, A. 2007. Evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos en cuencas de llanura periserranas. Estudio de caso, Balcarce, Provincia de Buenos Aires. *V Congreso Argentino de Hidrogeología*. Actas, 149-158. Parana, Argentina.
- Massone, H. y Martínez, D. 2008. Consideraciones metodológicas acerca del proceso de gestión del impacto y riesgo de contaminación de acuíferos. Publicación especial, *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, Vol. 7 Núm. 12, 9-22. Colombia.
- Massone, H., Quiroz Londoño, M. y Martínez, D. 2010. "Enhanced groundwater vulnerability assessment in geological homogeneous areas: a case study from the Argentine Pampas". *Hydrogeology Journal*, Springer, Vol 18, Num 2, 371-380.
- Massone, H., Sagua, M., Tomas, M., Zelaya, K., Betancur, T., Romanelli, A. y Lima, L. 2011. "El uso de CORINE Land Cover en la identificación de actividades potencialmente contaminantes del agua subterránea. Análisis preliminar en el área Mar del Plata-Balcarce (Argentina)". *Revista ASAGA*, núm. 27, 49-56. ISSN 1851-7838
- Miletto, M. 2010. Institutional Capacity Development on Water Management", *Proceedings of the IFAT Seminar on Water Supply and Sanitation* – Munich, Germany.
- Montaño Xavier, J., Gagliardi, S., Vidal, H. y Montaño, M. 2003. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú - comparación de los métodos GOD y DRASTIC. *III Congreso Argentino de Hidrogeología*. Actas.
- NRC, 1994. Science and Judgement in Risk Assessment. *National Research Council. National Academic Press*, Washington DC., 672 p.
- Olarte, Y., Peña, F. y Cotrina, G. 2012. Vulnerabilidad de acuíferos en los valles de Cinto e Ite. *Documento INGEMMET*, Peru.
- Otahx, N. 2009. Evaluación de los análisis de riesgo sanitario como herramienta de gestión de los recursos hídricos. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo urbano, UNMdP-Argentina.
- Pagliano, M. y Gualini, S. 2012. Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea y de fuentes de abastecimiento en la ciudad de Santa Fe. *IFRH, INA, Argentina*
- Rueda, O. y Angel, J. 2004. Propuesta metodológica preliminar para calificar la carga contaminante al subsuelo en un acuífero libre. *IV seminario-taller: protección de acuíferos frente a la contaminación: protección de la calidad del agua*.
- Sagua, M., Massone, H., Tomás, M., Lima, L. Y Romanelli, A. 2009. Social Vulnerability in the Risk Assessment of Groundwater Contamination in Peri-urban interface Areas. Mar del Plata-Balcarce Corridor. República Argentina. *Procc. TIES2010*, Venezuela.
- Secunda S, Collin M, Molloul A.1998. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal Environmental Management* 54:39-57
- Segura, L.; Saracho, M. y Moyano, P. 2005. "Hidroquímica y vulnerabilidad de los acuíferos de la Ciudad de Catamarca". Actas del *IV Congreso Argentino de Hidrogeología*, 1139-149.
- Valcarce Ortega, R. y Rodríguez Miranda, M. 2004. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en los acuíferos cubanos. *IV Seminario-taller: protección de acuíferos*. Lima, Perú.
- Vrba J. and Zaporozec, A. 1994. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. International Association of Hydrogeologists. Vol. 16. ISBN 3-922705-97-9.
- Vías Martínez, J. M., Perles Roselló, M. J. y Andreo Navarro, B. 2003: "Aplicación de un análisis cluster para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos", *GeoFocus* nº 3, 199-215.
- Zaporozec, A. (Ed.). 2004. *Groundwater contamination inventory UNESCO IHP-VI, Series on Groundwater* No. 2, CD-ROM