

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN Y CARTOGRAFÍA DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS. APORTACIONES DESDE LA GEOGRAFÍA

Autores: Jesús Vías, María Jesús Perles
jmvias@uma.es, mjperles@uma.es
Universidad de Málaga

Resumen: Propuesta metodológica para la evaluación y cartografía del riesgo de contaminación de acuíferos. Aportaciones desde la Geografía.

Se presenta una metodología para la evaluación y cartografía del riesgo de contaminación de acuíferos bajo una aproximación integradora, característica de la Geografía. Así, el riesgo se obtiene como resultado de la combinación de la peligrosidad de las actividades humanas y la vulnerabilidad de los acuíferos, junto con la exposición y vulnerabilidad de la población y bienes de la sociedad dependiente de los recursos hídricos subterráneos, con una perspectiva holística del problema.

La metodología ha sido aplicada al acuífero carbonático Sierra de Mijas, Costa del Sol occidental (Málaga), y los resultados indican que aunque no se han detectado zonas de elevado riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, como es propio de zonas con un bajo potencial industrial, sin embargo, al considerar el impacto socio-económico y demográfico potencial de la contaminación, el riesgo aumenta sus valores respecto a las cartografías habituales fundamentadas en los componentes parciales del riesgo (peligrosidad y vulnerabilidad intrínseca).

Abstract: Methodological approach to assess and risk mapping for the groundwater contamination. Contributions of the Geography.

In this work, a new risk mapping method for groundwater contamination has been developed. This method takes into account exposure and vulnerability of the population, a factor not used too much, and also dangerousness of the human activities and aquifer vulnerability.

The method has been applied to the carbonated aquifer of Sierra de Mijas in the Costa del Sol (Málaga). In this test site, there is an important stable population and, furthermore, temporal associated to the summer holiday. This population increases the environmental impact in an aquifer which intrinsic vulnerability is high. The results show that there is not very high risk, logical in an area not industrial, but when the human vulnerability is included as a factor for the risk mapping, the degree of the risk is higher respect to others classic methods based only on dangerousness and intrinsic vulnerability.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Desde hace muchos años, la evaluación del riesgo se entiende como la combinación del peligro, la exposición y la vulnerabilidad frente a los eventos extremos de carácter negativo para el hombre. En ámbitos como el de las aguas subterráneas, esa visión integradora no ha ido más allá del plano conceptual y son escasas las metodologías que se han desarrollado para abordar el tema de la evaluación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas desde una perspectiva holística e integradora del problema. Tradicionalmente, el estudio del riesgo de contaminación de

acuíferos ha sido abordado de una forma parcial, es decir, sin tener en cuenta todos los componentes del riesgo (solo a partir del peligro y de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero). Así por ejemplo, se encuentran estudios del riesgo basados en la peligrosidad y vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos como los de DIMITRIOU *et al.* (2008), MIMI y ASSI (2009), JIMÉNEZ *et al.* (2010) o BAALOUSHA (2011).

Las primeras aproximaciones conceptuales y/o metodológicas sobre la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, bajo una perspectiva holística, tuvieron lugar a finales de los años ochenta. ALLER *et al.* (1987) y FOSTER (1987) estimaron el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas incluyendo aspectos de la componente social del riesgo, como, por ejemplo, el volumen de personas expuestas a un peligro de contaminación de las aguas subterráneas (en cambio, los trabajos de estos autores han sido reconocidos a nivel internacional por la aportación realizada para una de las componentes del riesgo: la vulnerabilidad de los acuíferos). Una década más tarde, CIVITA y DE MAIO (1997), DUCCI (1999) y DARMENDRAIL (2001), introducían la vertiente económica del problema. DALY *et al.* (2002) propusieron, de manera genérica y conceptual, evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante la inclusión de un factor relacionado con las consecuencias que puede tener un vertido de contaminantes para la población. Esta propuesta conceptual surgió en el marco del proyecto COST Action 620 (ZWAHLEN, 2004) cuyo objetivo era evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación en acuíferos carbonáticos. En el marco de este proyecto, se diseñó una metodología para evaluar el riesgo de contaminación basada en dos índices: uno relacionado con aspectos ecológicos y económicos y otro relativo a las componentes peligrosidad y vulnerabilidad del acuífero (HÖTZL, 2004), aunque sólo este último ha tenido repercusión internacional.

El método que se presenta en este trabajo es una combinación entre la idea original de DALY *et al.* (2002), en la que el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es función de los peligros, la vulnerabilidad intrínseca y las consecuencias de la contaminación para la población, y el método de evaluación de VARNES (1984), por el cual el riesgo es función de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Concretamente, se aborda el riesgo a partir de la metodología desarrollada por VÍAS (2005) basado en las actividades humanas que causan la contaminación (peligros), la población que se expone al peligro con diferentes vulnerabilidades (vulnerabilidad del medio humano) y el medio natural que atenúa y mitiga un posible evento de contaminación en función de sus características físicas (vulnerabilidad del medio físico) (Figura 1).

El objetivo de este trabajo es dar a conocer una metodología de evaluación y cartografía del riesgo de contaminación de acuíferos, que integre todos los componentes del riesgo, es decir: peligros de contaminación, exposición de elementos del medio físico y humano y vulnerabilidad de los elementos expuestos. A partir de la evaluación del riesgo mediante estos componentes se respondería a la pregunta ¿Qué partes del acuífero son las que presentan mayor riesgo para la población y sus bienes, si se contamina el agua subterránea?

Otro objetivo es comparar los resultados del método planteado, con el método de HÖTZL *et al.* (2004) donde no se tiene en cuenta la exposición y vulnerabilidad de los elementos del medio humano (población y bienes socioeconómicos) y analizar las diferencias entre los resultados obtenidos por una metodología de objetivos más parciales respecto a otra más integradora de la globalidad del concepto de riesgo.

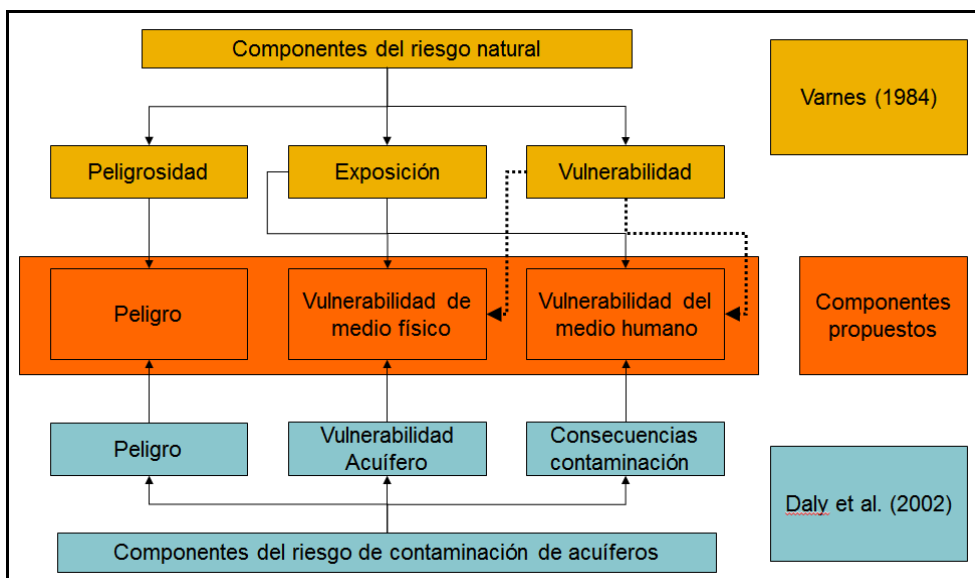


Figura 1. Correspondencia entre componentes del riesgo.

2. METODOLOGÍA

El método de evaluación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas está basado en el producto de tres índices (ecuación 1)

$$HVFVH = H \times V_F \times V_H \quad \text{Ecuación 1}$$

donde HVFVH es el índice de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, H es la peligrosidad de las actividades humanas normalizada entre 0 y 100, V_F es la vulnerabilidad del medio físico normalizado entre 0 y 1 y V_H es la vulnerabilidad del medio humano.

El método de normalización utilizado (VOOGD, 1983) divide el valor de la variable entre el máximo teórico (ecuación 2).

$$X_n = \frac{X_i}{X_{\max}} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde X_n es el valor de la variable normalizada, X_i es el valor de la variable en el punto i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) y X_{\max} el valor máximo teórico de la variable (por ejemplo, el valor máximo de la pendiente del terreno es 90° , independientemente del valor máximo que tome la variable en la zona de estudio).

Cada uno de los componentes a partir de los cuales se obtiene el riesgo responde a una metodología determinada. El hecho de normalizar los índices relacionados con la peligrosidad y la vulnerabilidad de los acuíferos cumple el objetivo de permitir la utilización de cualquier método diseñado para tal efecto. De esta manera, se permite utilizar el método que mejor se adecua a las características de la zona de estudio, dada la amplia gama de metodologías elaboradas para ello en los dos últimos decenios.

El índice H se obtiene mediante la ecuación 3

$$H = \frac{HI_i}{HI_{\max}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

donde H es el índice de la componente peligrosidad, H_i es el valor del índice del método utilizado para evaluar la peligrosidad, H_{\max} es el valor máximo del índice del método utilizado.

El índice de vulnerabilidad del medio físico (V_F) responde a dos factores: (1). exposición de recursos hídricos a un evento de contaminación y (2) capacidad de protección o susceptibilidad del acuífero a un evento de contaminación. Este segundo factor ha sido ampliamente estudiado a partir del término vulnerabilidad intrínseca. Para el factor susceptibilidad del acuífero se han desarrollado diversas metodologías, sobre todo en función del tipo de acuífero. La exposición ha sido analizada a partir de un factor que mide la cantidad de recursos que pueden ser afectados por un evento de contaminación (VÍAS, 2005). Este factor de exposición, variable entre 0.5 y 1, es un factor corrector de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero. Si la exposición es elevada, la vulnerabilidad del acuífero no se ve modificada, pero si la exposición es baja, es decir, hay pocos recursos hídricos expuestos, la vulnerabilidad se reduce hasta en un 50% (ecuación 4).

$$V_F = \frac{E_F \times V_{int}}{V_{int-max}} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde V_F es la vulnerabilidad del medio físico, E_F la cantidad de recursos hídricos expuestos, V_{int} la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y $V_{int-max}$ la vulnerabilidad intrínseca máxima según el método utilizado.

El método de vulnerabilidad del medio humano es el utilizado por VÍAS (2005) y PERLES *et al.* (2009) (Ecuación 5).

$$V_H = 3 \cdot P + 2 \cdot AG + ST \quad \text{Ecuación 5}$$

donde V_H = vulnerabilidad del medio humano, P = población, AG = actividades agropecuarias y ST = otras actividades productivas. Cada uno de estos factores recoge la exposición de los elementos, así como su capacidad de resistencia y resiliencia.

Este método está basado en tres factores que evalúan la exposición de personas y bienes socioeconómicos junto con la capacidad de resiliencia y resistencia (CUTTER, 1996). La dificultad de este método de evaluación de la vulnerabilidad del medio humano radica en dos aspectos. Por un lado, la diversidad de actividades humanas susceptibles de ser analizadas mediante los tres factores mencionados, lo que conlleva a una compleja búsqueda de información (bibliográfica, estadística y de campo), sobre la vulnerabilidad de las entidades geográficas implicadas en el estudio. Por otro lado, la localización de estas entidades geográficas que son objeto de estudio. En el caso de los índices H y V_F de las componentes Peligrosidad y Vulnerabilidad del Medio Físico, las entidades geográficas analizadas se localizan sobre la superficie topográfica del acuífero, pero en el caso del índice V_H , las entidades geográficas no tienen por qué localizarse sobre el acuífero, lo que obliga a utilizar una estrategia cartográfica que permita extrapolar los datos de las entidades geográficas que reciben las consecuencias negativas de un evento de contaminación a la superficie del mismo, con el objetivo de poder realizar la superposición cartográfica en el SIG.

Un esquema de todos los componentes y factores del método HVFVH se recoge en la figura 2.

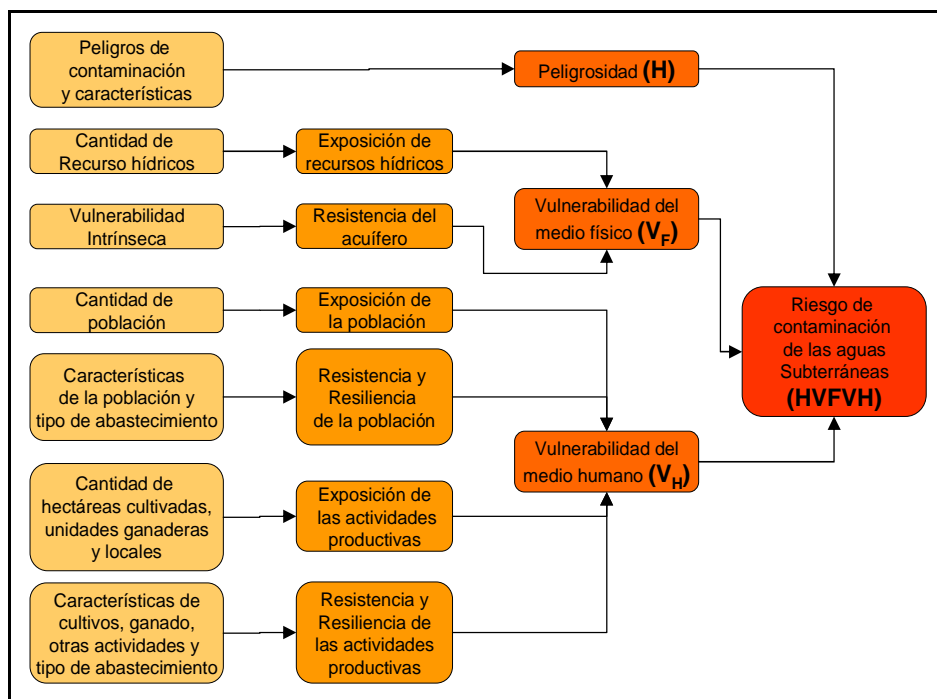


Figura 2. Esquema de componentes y factores del método HVFVH para evaluar el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

El índice obtenido de aplicar el método HVFVH varía entre 0 y 3000. Los valores cercanos a cero indican un riesgo mínimo y los valores cercanos a 3000 máximo. Para clasificar los valores del índice en intervalos de forma que se recojan diversas tipologías de riesgo, se ha utilizado una clasificación del índice en cinco intervalos mediante una distribución estadística normal (Figura 3), cuyo coeficiente de curtosis es cero, es decir, mesocúrtica.

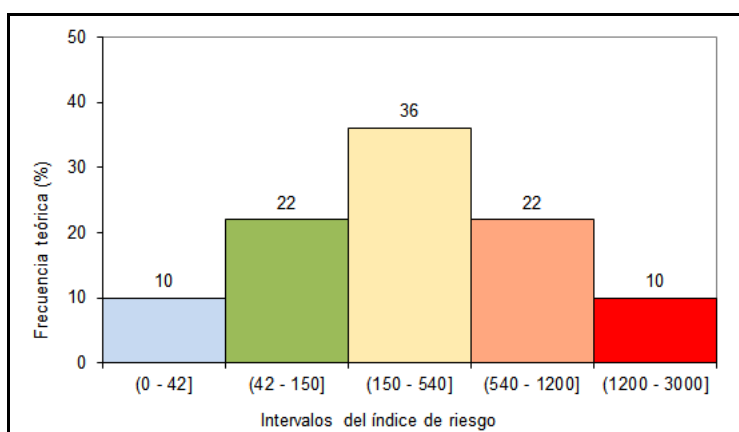


Figura 3. Intervalos del índice de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas según distribución estadística de frecuencias normal mesocúrtica.

3. APLICACIÓN DEL MÉTODO A LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Características de la zona de estudio

La unidad hidrogeológica de la Sierra de Mijas (Masa de agua 060.038 según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) se localiza entre los municipios de Alhaurín el Grande y Alhaurín de la Torre (al norte) y Mijas,

Benalmádena y Torremolinos (al sur). Según datos de VÍAS (2005), en estos municipios residen 181555 hab. (297392 en la actualidad) de los cuales 130493 son abastecidos con aguas del acuífero de la Sierra de Mijas, es decir, el 72 % depende de los recursos hídricos subterráneos del acuífero. Esta elevada dependencia contrasta con las presiones antrópicas que se ejercen sobre el acuífero, principalmente de índole urbanística ya que se encuentra a solo 15 km de la capital provincial y la mitad sur de la sierra se localiza en la Costa del Sol, un lugar de referencia internacional para el turismo de sol y playa.

El acuífero de la sierra de Mijas es una zona montañosa muy abrupta, con fuertes pendientes, sobre todo en su vertiente meridional, y con una altitud que varía desde los 1100m en la parte occidental hasta los 600m en la parte oriental. La sierra está formada por mármoles triásicos fuertemente diaclasados que le confieren una elevada capacidad de infiltración. La protección natural de los mármoles es baja ya que apenas hay suelo, mayoritariamente leptosoles líticos, y la vegetación arbórea escasa con predominio del matorral y el pastizal (salvo en el sector noroccidental donde hay una importante masa forestal de coníferas).

La actividad productiva está basada en el turismo, principalmente en la mitad sur, lo que repercute en una importante presencia de actividades relacionadas con la hostelería, restauración y comercios. En cambio, la mitad septentrional es un espacio de contrastes: una parte occidental basada en actividades agropecuarias y una mitad oriental que ha cambiado el uso agropecuario tradicional por una actividad de servicios propia de una ciudad dormitorio.

3.2. Factores y componentes del riesgo

La evaluación del riesgo se ha llevado a cabo a partir de las componentes mencionadas en el apartado de metodología. Concretamente, para evaluar la peligrosidad de las actividades humanas se ha utilizado el método HI diseñado por DE KETELEARE *et al.* (2004), por el cual la peligrosidad es el producto de la probabilidad de emitir sustancias contaminantes al medio, la cantidad de sustancias y la nocividad o toxicidad de las mismas. En el caso de la Sierra de Mijas la mayoría de las actividades humanas con potencial para contaminar tienen una peligrosidad de grado Bajo o Moderado, según datos de VÍAS *et al.* (2004).

Para evaluar la vulnerabilidad del medio físico se han utilizado dos factores. Exposición de recursos hídricos (según el índice utilizado por VÍAS, (2005) y capacidad de resistencia a la contaminación mediante el método COP (VÍAS *et al.*, 2006), diseñado específicamente para acuíferos carbonáticos, acorde con los materiales de la zona de estudio. El resultado de esta componente varía en una amplia gama de valores, desde zonas con una vulnerabilidad muy alta a zonas con una vulnerabilidad muy baja, aunque en un 75% predomina la vulnerabilidad de clase moderada o alta.

En cuanto a la vulnerabilidad del medio humano, las importantes consecuencias que podría tener un evento de contaminación en el acuífero recaen, sobre todo, en el sector oriental de la sierra, donde hay un elevado número de núcleos urbanos cuya población y actividades económicas (básicamente relacionadas con el turismo) dependen de los recursos hídricos de la sierra.

4. RESULTADOS

El resultado de aplicar el método propuesto en este trabajo, pone de manifiesto que el riesgo es principalmente de clase Moderado (Figura 4), propio de zonas poco industrializadas y con una fuerte presión urbanística.

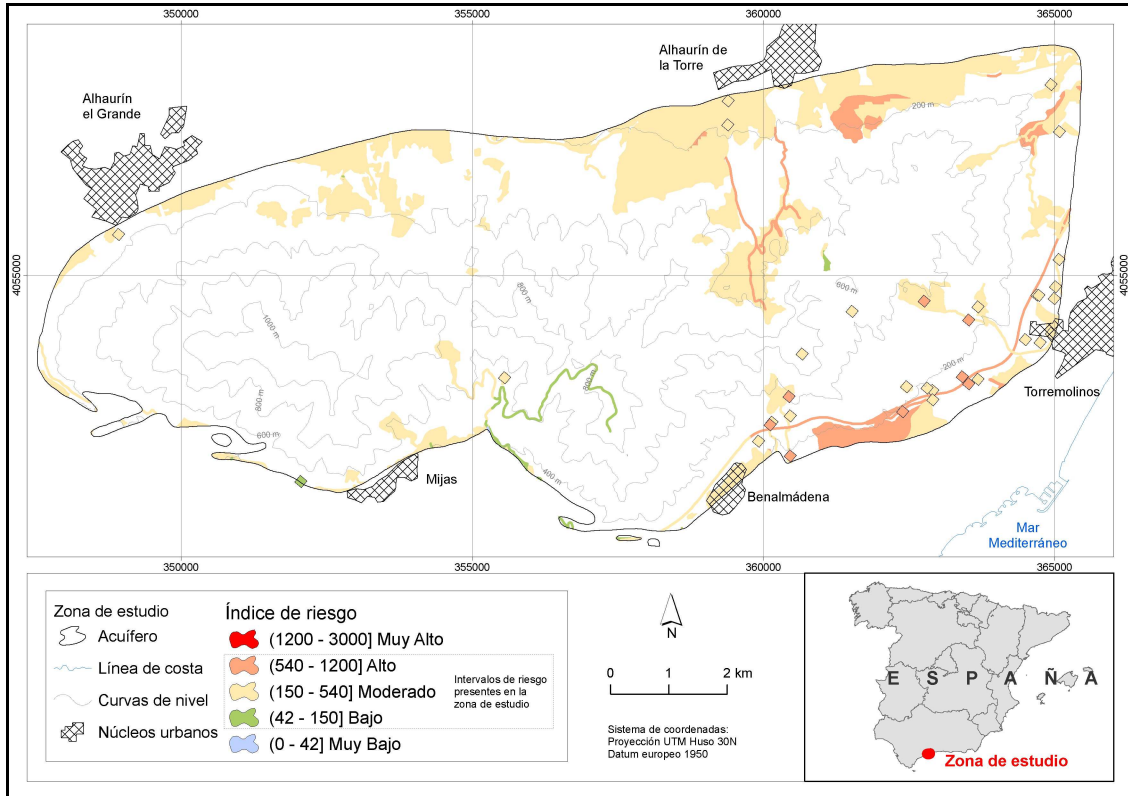


Figura 4. Mapa de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas del acuífero Sierra de Mijas según el método HVFVH.

Se observa que el riesgo de contaminación de las aguas para la población y sus bienes representa menos de una quinta parte de la superficie del acuífero, pero la mayor parte se localiza en zonas próximas a los puntos de abastecimiento.

Las zonas de mayor riesgo, de clase Alto, se localizan en el sector del acuífero sobre el que se ejercen mayores presiones (mitad oriental), hay una elevada vulnerabilidad del medio físico y, a su vez, es el sector del que mayor dependencia hídrica existe para la población y la actividad productiva. En cambio, en otros sectores del acuífero se han localizado zonas con riesgo de clase bajo, dado que son zonas donde la dependencia hídrica desde el acuífero es mínima, es decir, la exposición es muy baja.

5. DISCUSIÓN

Los resultados de aplicar el método HVFVH muestran la importancia de incluir la vulnerabilidad del medio humano en los estudios de riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Este hecho se pone de manifiesto cuando se compara el mapa de riesgo anterior, con el mapa de riesgo que se obtiene al utilizar una metodología que no tiene en cuenta la vulnerabilidad del medio humano, sino sólo la vulnerabilidad del acuífero (tradicionalmente conocida como vulnerabilidad intrínseca) y la peligrosidad de las actividades humanas a partir del método Risk Intensity Index (RII) diseñado por

HÖTZL *et al.* (2004). En un amplio porcentaje de la superficie de la zona de estudio, el riesgo cambia de categoría (67 %), pero sobre todo destaca el hecho de que en un 51 % el riesgo aumenta de categoría (en un 16% decrece el grado de riesgo), lo que pone en evidencia ciertas metodologías que solo incorporan una parte de los componentes del riesgo (Figura 5).

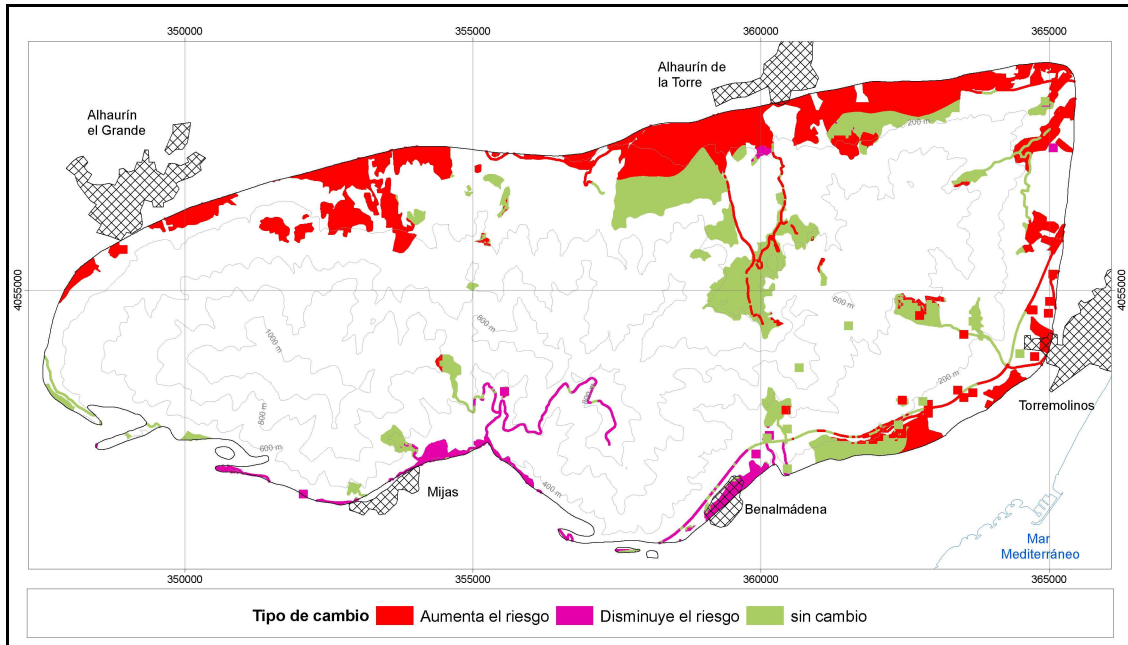


Figura 5. Zonas de cambio en la clase de riesgo al comparar el método HVFVH con el método RII.

La demanda de recursos hídricos del acuífero para la actividad humana y económica es muy importante en los sectores septentrional y suroriental, lo que aumenta el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas debido a las consecuencias negativas que tendría un evento de contaminación. Por el contrario, en el sector suroccidental, la utilización de los recursos hídricos de la sierra son complementarios (utilizados solo en caso de necesidad) a los procedentes del embalse de la Concepción localizado a 30 km al Oeste de la zona de estudio, por lo que apenas hay consecuencias negativas de un evento de contaminación en la actividad productiva y, por tanto, el riesgo disminuye.

6. CONCLUSIONES

La principal novedad del método planteado en este trabajo es la inclusión de la actividad humana como objeto que recibe las consecuencias de un evento de contaminación, aspecto que tradicionalmente no ha sido tratado en el campo del riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Este hecho implica que el mapa de riesgo varía de forma notable según se utilice una metodología más parcial o global; en concreto, aumenta considerablemente el grado de riesgo de las zonas que tienen una importancia estratégica para la población, al ser el recurso natural hídrico del que depende la población y su actividad económica.

El mapa de riesgo está condicionado, desde un punto de vista espacial, por las variaciones que establecen la vulnerabilidad del medio físico y, sobre todo, la

evaluación de la peligrosidad de las actividades humanas. Un apartado que requiere especial atención es mejorar la cartografía de vulnerabilidad del medio humano (componente V_H), al menos desde un punto de vista espacial. Esto significa mejorar la delimitación de las áreas de recarga de los puntos de agua para abastecimiento a la población y a las actividades productivas ligadas al recurso hídrico subterráneo, lo que permitiría mejorar la resolución espacial del análisis del riesgo y obtener resultados más precisos en el territorio.

El mapa de riesgo es una imagen del territorio para un determinado momento temporal. Los cambios producidos con posterioridad a la cartografía hacen presagiar cambios en la clase de riesgo de determinados sectores del acuífero, debido a la rápida y constante evolución de las actividades humanas en el medio. En cambio, la cartografía de vulnerabilidad del medio físico apenas sufre cambios en el tiempo, al menos a la velocidad que si experimenta el medio humano. La estimación del riesgo fundamentada en la peligrosidad y en la vulnerabilidad del medio físico permite hacer una estimación de las áreas territoriales más sensibles frente a posibles eventos de contaminación, por lo que es útil para planificar la ubicación de futuras acciones potencialmente peligrosas. Sin embargo, sólo si en la evaluación se incluye la componente de la vulnerabilidad social, se puede estimar en que zonas las consecuencias efectivas del posible evento de contaminación serán más graves para la población, sus bienes y actividades productivas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEER, J.; PETTY, J. Y HACKET, G. (1987): Drastic: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency. Ada. Oklahoma, 455 p.
- BAALOUSHA, H. (2011): «Mapping groundwater contamination risk using GIS and groundwater modelling. A case study from the Gaza Strip, Palestine». *Arabian Journal of Geosciences*, Vol 4 (3-4), pp 483-494.
- CIVITA, M. Y DE MAIO, M. (1997): Assessing groundwater contamination risk using Arcinfo via grid function. Proceedings of ESRI conference, San Diego, <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc97/home.htm>>, [consulta: 20/05/2013]
- .CUTTER, S. (1996): «Vulnerability to environmental hazards». *Progress in Human Geography*, Vol. 20 (4) pp 529-539.
- DALY, D. DASSARGUES; A., DREW, D.; DUNNE, S.; GOLDSCHIEDER, N.; NEALE, N.; POPESCU, C. Y ZWAHLEN, F. (2002): «Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping». *Hydrogeological Journal*, Vol. 10 (2), pp 340-345.
- DARMENDRAIL, D. (2001): The French approach to contaminated-land management. BRGM/RP-51098-FR, 150 p.
- DE KETELAERE, D.; HÖTZL, H.; NEUKUM, C.; CIVITTA, M. Y SAPPA, G. (2004): «Hazard analysis and mapping. En F. Zwahlen (ed), Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers». Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, European Commission, Directorate General for Research, Luxembourg, pp 86-105.
- DIMITRIOU, E.; KARAOUZASA, I.; SARANTAKOSB, K.; ZACHARIASC, I.; BOGDANOSA, K. Y DIAPOULISA, A. (2008): «Groundwater risk assessment

- at a heavily industrialised catchment and the associated impacts on a peri-urban wetland». *Journal of Environmental Management*, Vol 88 (3), pp 526-538
- DUCCI, D. (1999): «GIS techniques for mapping groundwater contamination risk», *Natural Hazards*, Vol 20, pp 279-294.
- FOSTER, S. (1987): «Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy». En W. Van Duijvenbooden y H.G. Van Waegeningh (Eds), *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. Proceedings and information n° 38, TNO Committee on hydrological research. The Hague*, pp 69-86.
- HÖTZL, H. (2004): «Assessment concept». En F. Zwahlen (ed), *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers. Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, Comisión europea, Dirección General de Investigación, Luxemburgo*, pp 108-112.
- HÖTZL, H.; DELPORTE, C.; LIESCH, T.; MALIK, P.; NEUKUM, C. Y SVASTA, J. (2004). «Risk mapping». En F. Zwahlen (ed), *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, Comisión europea, Dirección General de Investigación, Luxemburgo*, pp 113-121.
- JIMÉNEZ, A.; MARTÍNEZ, C. Y CARRASCO, F. (2010): «Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Aplicación a los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Cañete (sur de España)». *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 121 (2). pp 139-152.
- MIMI, Z. Y ASSI, A. (2009): «Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers»: A case study. *Journal of Hydrology*, Vol. 364 (3-4), pp 298-310.
- PERLES, M.J.; VÍAS, J. Y ANDREO, A. (2009): «Vulnerability of human environment to risk. Case of groundwater contamination risk». *Environment International Journal*, Vol. 35 (2), pp. 325-335.
- VARNES, D.J. (1984): «Landslide hazard zonation: a review of principles and practice». *Natural Hazards*, n° 3, UNESCO, 63 p.
- VÍAS, J. (2005): *Desarrollo metodológico para la estimación y cartografía del riesgo de contaminación de aguas subterráneas mediante SIG. Aplicación en acuíferos del Sur de España. Tesis Doctoral, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga*. 421 p.
- VÍAS, J.; PERLES, M.J. Y ANDREO, B. (2004): «Cartografía de peligrosidad de contaminación de las aguas subterráneas mediante un SIG. Aplicación al acuífero de la Sierra de Mijas (Málaga)». En C. Conesa, Y. Alvarez, y J.B. Martínez (eds), *Medio Ambiente, recursos y riesgo naturales. Análisis mediante tecnología SIG y teledetección. Vol II. Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Asociación de Geógrafos Españoles (AGE)*. pp 347-360.
- VÍAS, J., ANDREO, B., PERLES, M.J., CARRASCO, F., VADILLO, I. Y JIMÉNEZ, P. (2006): «Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Application in two pilot sites in Southern Spain». *Hydrogeology Journal*, Vol. 14 (6), pp 912-925.
- VOOGD, H. (1983): *Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion Ltd, Londres*. 370 p.
- ZWAHLEN F. (Ed) (2004): *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, Comisión europea, Dirección General de Investigación, Luxemburgo*, 297 p.