

## Evaluación de riesgos potenciales asociados a las captaciones de aguas de consumo que abastecen al polígono industrial de Casares (Málaga)

### *Public Health Assessment of potential hazards in private drinking water wells in the industrial park of Casares (Málaga)*

### *Avaliação dos riscos potenciais associados às captações de água de consumo que abastecem o parque industrial de Casares (Málaga)*

**Carolina Castellano Calero<sup>1</sup>, Miguel Ángel Pezzi Cereto<sup>2</sup>, Rocío Fernández Vázquez<sup>3</sup> y Piedad Martín-Olmedo<sup>3,4</sup>**

(1) Distrito Sanitario Costa del Sol. Mijas Costa

(2) Área Sanitaria Serranía de Málaga. Ronda

(3) Escuela Andaluza de Salud Pública. Granada

(4) CIBER en Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), España.

**Cita:** Castellano-Calero C, Pezzi-Cereto MA, Fernández-Vázquez R, Martín-Olmedo P. Evaluación de riesgos potenciales asociados a las captaciones de aguas de consumo que abastecen al polígono industrial de Casares (Málaga). *Rev. salud ambient.* 2012;12(1):26-33

**Recibido:** 16 de abril de 2011. **Aceptado:** 8 de mayo de 2012. **Publicado:** 28 de junio de 2012

**Autor para correspondencia:** Piedad Martín Olmedo. Escuela Andaluza de Salud Pública, Campus Universitario Cartuja, Apartado 2070. Granada 18080. Correo e: [piedad.martin.easp@juntadeandalucia.es](mailto:piedad.martin.easp@juntadeandalucia.es)

**Financiación:** Ninguna

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses en relación con la publicación del presente artículo.

### Resumen

El presente trabajo pretende mostrar la utilidad de la metodología de evaluación de riesgos en salud (ERSP) de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, USA) como herramienta de salud pública en la priorización y sistematización de actuaciones relacionadas con la exposición a sustancias químicas. En concreto en este estudio se han evaluado los riesgos potenciales que podrían afectar a las captaciones (pozos) que abastecen al Polígono Industrial de Casares (Málaga) (PIC), situado en las proximidades de la planta de Transformación de Residuos Sólidos Urbanos (PT-RSU) de la Costa del Sol y de un vertedero sellado. El estudio exhaustivo de la zona, con análisis de las características geomorfológicas, condiciones climáticas y actividades económicas presentes y pasadas de la zona, ha permitido identificar las rutas de exposición más probables, y la identificación y caracterización de los peligros más relevantes que podrían afectar al agua de las captaciones en estudio. La metodología de la ATSDR se ha complementado con el uso de modelos para la estimación de peligros de contaminación de acuíferos (Modelo SIG), y revisión en bases de datos internacionales para la identificación de peligros químicos. Como resultado del estudio se ha identificado la existencia de dos acuíferos distintos que abastecen los 4 pozos del PIC, lo que supone un análisis diferenciado de riesgos potenciales. Asimismo se ha descartado la actividad agrícola como fuente de peligros pero no así la ganadera. Es preciso aumentar la frecuencia de control en relación a la PT-RSU de parámetros microbiológicos y químicos como el tetracloroetano, otros compuestos orgánicos volátiles y metales pesados (As, Pb, Hg). La importante carga de coliformes totales encontrada en todos los pozos hace necesario además investigar posibles filtraciones de la red de saneamiento de las poblaciones colindantes.

**Palabras clave:** metodología ATSDR, evaluación de riesgo en salud pública, agua de consumo humano.

### Abstract

This study intends to show the applicability of the Public Health Assessment (PHA) methodology used by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, USA), as a public health tool for prioritizing and systematizing the risk management process related to human exposure to chemicals. Specifically, the potential risk factors that could affect the private drinking water wells in the industrial park of Casares (Málaga) (PIC) have been assessed. The PIC is located close to the Urban Solid waste treatment plant of the Costa del Sol and a sealed landfill. Detailed analysis of the geomorphologic characteristics, climatic conditions, and economical activities – present and past- of the area made it possible to identify potential exposure pathways, and the most probable chemical hazards that could affect private drinking water wells in the area. ATSDR's methodology was complemented by the implementation of models for the assessment of groundwater contamination (SIG Models), and by a search in international databases for chemical identification. As a result of the present study, two different aquifers were identified as suppliers of the 4 private drinking water wells of the PIC, which entailed a differential analysis of potential risk factors. Landfill and livestock activities in the area seem to be the most relevant sources of hazards in the identification of the exposure pathway, whereas agricultural activity could be ruled out. There is need to increase the frequency of quality control procedures and long-term monitoring of the

groundwater to characterize possible faecal contamination and the level of exposure to heavy metals (As, Pb, Hg), as well as to volatile organic compounds (tetrachloroethane, and vinyl chloride). The significant levels of total coliforms found in all the wells indicate that possible leachates from neighbouring municipal sewage systems also have to be investigated.

**Keywords:** ATSDR, health assessment, exposure investigations, exposure pathway, chemical hazards, drinking water wells, landfill.

### Resumo

O presente trabalho pretende mostrar a utilidade da metodologia de Avaliação de Riscos em Saúde (ERSP) da Agência para as Substâncias Tóxicas e Registo de Doenças (ATSDR, EUA) como ferramenta de Saúde Pública na priorização e sistematização do processo de gestão de riscos relacionados com a exposição a substâncias químicas. Neste estudo foram avaliados em concreto os riscos potenciais que poderiam afectar as captações (poços) que abastecem o Parque Industrial de Casares (Málaga) (PIC), situado nas proximidades da estação de transformação de Resíduos Sólidos Urbanos (PT-RSU) da Costa do Sol e de um aterro selado. O estudo exaustivo da área incluiu a análise das características geomorfológicas, condições climáticas e atividades económicas presentes e passadas na zona, tendo permitido identificar os caminhos de exposição mais prováveis e a identificação e caracterização dos perigos mais relevantes que poderiam afectar a água das captações em estudo. A metodologia da ATSDR foi complementada com a utilização de modelos para a estimação do perigo de contaminação de aquíferos (modelo SIG) e com uma pesquisa em bases de dados internacionais para identificação de perigos químicos. Como resultado do estudo identificou-se a existência de dois aquíferos distintos que abastecem os 4 poços do PIC, o que levou a uma análise diferenciada dos riscos potenciais. Desta forma, foi descartada a atividade agrícola como fonte de perigos mas não as atividades de criação de gado. Em relação à PT-RSU é necessário aumentar a frequência de controlo de parâmetros microbiológicos e químicos como o tetracloreto, outros compostos orgânicos voláteis e metais pesados (As, Pb, Hg). A importante carga de coliformes totais encontrada em todos os poços torna necessário investigar possíveis infiltrações a partir da rede de saneamento das povoações vizinhas.

**Palavras-chave:** metodologia ATSDR, avaliação de risco em Saúde Pública, água para consumo humano

### INTRODUCCIÓN

El Polígono Industrial de Casares (PIC), en fase de construcción, está situado en una zona conocida como Camino de los Pedregales al sur de Sierra Bermeja, en el límite de Casares con Estepona con una superficie global de 6 km<sup>2</sup>. Su particular ubicación, aislada del núcleo urbano y de difícil acceso, hace que el abastecimiento de agua de consumo humano a través de la red municipal sea económicamente inviable. Como solución a este problema se han realizado cuatro perforaciones (Figura 1) en la parte más alta del polígono sobre una masa de agua subterránea (código identificativo: 060.040) caracterizada como "agua costera de zona vulnerable"<sup>1</sup>. En los alrededores del PIC existen diferentes actividades que podrían comprometer la calidad de este agua entre las que destacan como más significativas la Planta de transformación de Residuos Sólidos Urbanos (PT-RSU) de la Costa del Sol y el antiguo vertedero de Estepona.

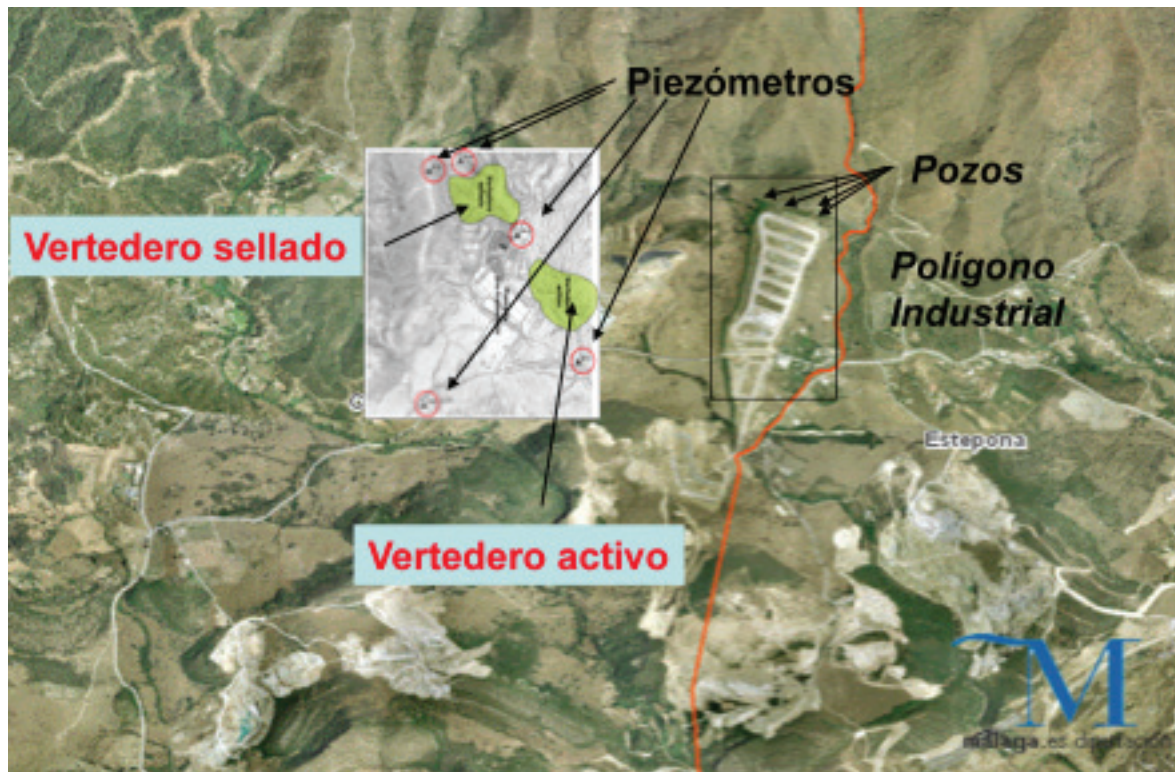
Las plantas de tratamiento de RSU y los vertederos son dispositivos complejos que pueden conducir a escenarios de exposición diversos, con implicación de múltiples agentes químicos y microbiológicos de efectos en salud no siempre bien caracterizados. Esta problemática puede verse amplificada en situaciones en las que existe una limitada información sobre las cantidades y tipos de residuos que se tratan o depositan en el vertedero, así como de las operaciones de control efectuadas<sup>2, 3</sup>. Son diversos los estudios epidemiológicos y las revisiones

llevadas a cabo para caracterizar los posibles efectos en salud de poblaciones residentes próximas a vertedero<sup>3,4,5</sup>. No obstante, muchos de estos estudios presentan importantes limitaciones asociadas fundamentalmente a la falta de caracterización directa de la exposición (Ej. caracterización de lixiviados o de contaminantes presentes en aguas subterráneas a las que la población puede verse expuesta), apoyando sus resultados en modelizaciones o medidas indirectas tales como la distancia de la residencia a las instalaciones de riesgo<sup>3,5</sup>.

Si bien pueden ser muchos los impactos a corto plazo, los de mayor importancia y calado son aquellos que tienen consecuencias a largo plazo (durante periodos incluso de centenares de años) que generalmente están relacionados con lixiviados y el gas del vertedero<sup>6,7</sup>.

El Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de agua de consumo humano<sup>8</sup>, señala en su artículo 13 que todo proyecto de utilización de una nueva captación de agua de consumo debe disponer de un informe sanitario vinculante elaborado por la Autoridad Sanitaria. En la actualidad son muchos los programas y políticas que demandan que las actuaciones del control oficial se fundamenten en una evaluación previa de los riesgos para la salud sobre la base de la mejor evidencia científica. No obstante, no se han aprobado de manera consensuada procedimientos fácilmente aplicables para los profesionales de salud pública en nuestro país.

Figura 1. Localización área del PIC y de los pozos



La Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés) es una agencia federal estadounidense de salud pública de reconocido prestigio mundial que lleva aplicando con éxito durante las tres últimas décadas una metodología estandarizada para la evaluación de riesgos en salud pública (ERSP)<sup>9</sup>. Esta metodología se centra fundamentalmente en peligros químicos específicos que pudieran darse en sitios contaminados o relacionados con actividades de riesgos ambientales. Se trata de una metodología de apoyo a la toma de decisiones en salud pública con la que se persigue: 1) responder a situaciones de alta preocupación de la sociedad sobre su seguridad en relación a un conjunto de actividades de riesgo, o de peligros concretos en medios concretos; 2) identificar fuentes de peligros (industria, punto de vertido, etc.) que podrían contribuir a un problema de salud pública de forma probable; 3) identificar áreas donde es preciso desarrollar o redefinir medidas legislativas o de intervención para asegurar la adecuada protección de la salud pública; 4) identificar grupos de población de especial susceptibilidad potencial o con mayor probabilidad de estar expuestos a peligros serios, sobre los que, de estimarlo preciso, se llevaría a cabo un seguimiento más directo (Ej. estudio epidemiológico o campaña de educación para la salud); 5) asignar de forma sistemática prioridades, recursos y

actuaciones que eviten riesgos presentes o futuros<sup>10</sup>.

El presente trabajo trata de demostrar la utilidad de la aplicación de la metodología propuesta por la ATSDR en la identificación de rutas de exposición más probables y caracterización de los peligros más relevantes que podrían afectar al agua de las captaciones del PIC.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De forma muy resumida, para llevar a cabo una ERSP por exposición a sustancias peligrosas o tóxicas es preciso<sup>10</sup>: 1) identificar los peligros que con mayor probabilidad pueden darse en un lugar en relación a la actividad presente o pasada, así como los mecanismos por los que dichos peligros podrían pasar de un medio a otro (Ej. emisión de metales pesados desde una chimenea y su dispersión desde el aire a otros posibles medios como el suelo o las aguas superficiales, etc.); 2) delimitar si las personas pueden entrar en contacto con dichas sustancias y cómo, definiendo para ello las "rutas de exposición" completas o potenciales; 3) cuantificar las concentraciones de sustancias peligrosas que se encuentran en los medios que resultan "puntos de contacto" para la población potencialmente afectada (Ej. concentración de metales pesados en alimentos); 4) caracterizar los daños en

salud (caracterización del peligro) que las sustancias de interés puedan ocasionar, diferenciando entre posible "efecto no-cáncer" y "efecto cáncer"; 5) cuantificar la dosis de exposición (DE) en población afectada, diferenciando entre tipo de efecto (no-cáncer y efecto cáncer) y tipo de población potencialmente afectada (adulto o infantil); 6) cuantificar las implicaciones en salud pública, atendiendo al tipo de efecto antes descrito.

En el caso concreto del trabajo aquí planteado se abordaron exclusivamente los aspectos preliminares centrándonos en los análisis de los antecedentes del lugar y la propuesta de rutas de exposición más probables, para valorar qué peligros potenciales deberían ser tenidos en cuenta en los análisis previos a la autorización del uso del agua de las captaciones del PIC, así como en el plan de vigilancia y control mantenido en las mismas.

### 1.- Estudio de antecedentes del lugar. recogida de información

#### Características climatológicas

Tanto en el estudio pluviométrico como en el de temperaturas de la zona se han utilizado datos obtenidos de la red de estaciones del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de Los Reales ubicado a unos 3,9 Km. lineales de los sondeos y una altitud de 1.435 metros sobre el nivel del mar. Esta información se ha complementado por datos de la Agencia Andaluza del Agua<sup>12</sup>

#### Estudio hidrogeológico del suelo

Se ha realizado mediante revisión documental, consultando el Atlas Hidrogeológico de Andalucía más reciente<sup>1</sup>. Esta información se ha complementado con la aplicación del método Hazard Index (HI) donde se integran Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar mapas de vulnerabilidad de contaminación de acuíferos. En esta metodología el índice HI se obtiene a partir de la superposición espacial de factores de nocividad (H), intensidad (Qn) y probabilidad (Rf). La nocividad

recoge todas las posibles categorías y subcategorías de actividades potencialmente peligrosas de la zona y las puntuaciones de nocividad, que varían entre 10 (mínima) y 100 (máxima). El factor Qn indica la cantidad de sustancia que puede ser vertida en caso de accidente y se relaciona con la dimensión de la fuente contaminante. El factor Rf considera la probabilidad de que ocurra un evento de contaminación y su valor varía entre 0 y 1. Para evaluar esta probabilidad se puede utilizar el estado de conservación o mantenimiento de las actividades productivas y la seguridad de las instalaciones o de la actividad<sup>13</sup>. El índice final de peligrosidad (HI) puede variar entre un mínimo de 0 y un máximo de 120, y se agrupa en 5 clases en función de su peligrosidad (Tabla 1).

#### Actividades de riesgo en la zona

La identificación de actividades de riesgo se realizó mediante revisión documental y entrevistas con informantes clave.

#### Recopilación de datos existentes sobre calidad del agua de pozos

La empresa responsable del PIC facilitó boletines analíticos de 8 análisis de control de los 4 pozos, incluyendo todos los parámetros contemplados en el RD 140/2003 de aguas de consumo<sup>8</sup> para este tipo de análisis, y las determinaciones de algunos metales pesados (As, Pb, Cd y Cr). Los análisis fueron efectuados por el Laboratorio CAVENDRISH S.L, acreditado con la norma ISO 17025 y autorizado por la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía (nº de autorización A201/I). Las muestras fueron tomadas el 13/04/2009.

### 2.- Propuesta de rutas de exposición potenciales

La delimitación de las rutas de exposición potenciales se ha efectuado mediante la integración de los datos de los antecedentes del sitio y de los peligros más significativos asociados a las actividades de la zona.

Tabla 1. Índice final de peligro (HI) de contaminación de los acuíferos conforme a modelos SIG. Reproducido de Vías Martínez et al.<sup>13</sup>

Intervalos del HI	Clase de Peligrosidad
(0 - 24)	Muy Baja
(24 - 48)	Baja
(48 -72)	Moderada
(72 - 96)	Alta
(96 - 120)	Muy Alta

### 3.- Identificación de peligros más significativos

Se llevó a cabo una revisión de la bibliografía existente en relación a peligros más significativos asociados a las actividades presentes y pasadas en la zona. Se utilizaron los descriptores: << Leachate pollution AND landfill>>, <<landfill AND groundwater contamination>>, <<agricultural activity AND groundwater contamination>> aplicados en los campos de búsqueda genérica de PubMed. Asimismo, se buscaron casos prácticos de la metodología ERSP en relación con vertederos y PT-RSU en la Web de la ATSDR<sup>9</sup>. No se realizó una búsqueda exhaustiva de toda la evidencia existente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.- Estudio de antecedentes del lugar

#### Características climatológicas

Según la Agencia Andaluza del Agua la media pluviométrica anual para el período 1994-2007 en la zona fue de 1.036,6 l/m<sup>2</sup>. Estos valores son similares a la precipitación media acumulada para el año hidrogeológico 2007-2008 en Los Reales facilitado por el SAIH y cifrada en 1.168 l/m<sup>2</sup>. Se trata pues de una zona con una intensidad de lluvias muy importante que facilitaría el lavado de contaminantes químicos hacia la capa freática. A su vez, esta área se caracteriza por una gran suavidad térmica (9 °C -27 °C) que favorece fenómenos de degradación de diversa naturaleza y el lavado de compuestos tóxicos inicialmente fijados en materiales del suelo o residuos del vertedero<sup>7</sup>.

#### Estudio hidrogeológico

Geológicamente, el territorio se encuentra enclavado en la Zona Bética de las Cordilleras Béticas. Son formaciones de tipo postorogénico que se sitúan discordantes sobre un sustrato constituido por materiales de los complejos estructurales Alpujárride y Maláguide<sup>1</sup>.

La zona hidrogeológica en estudio comprende la masa de agua subterránea 060.040 denominado Acuífero Marbella-Estepona constituido por materiales detríticos del Plioceno y Cuaternario que le confieren un carácter permeable con porosidad primaria intergranular. La recarga se produce mayoritariamente por infiltración de cauces de corto recorrido que vierten al mar (ríos Padrón, Velerón, Guadalmanza, Guadalmina, Guadaiza, Verde y Real) y en menor medida del agua de lluvia. La superficie estimada del acuífero es de unos 80 km<sup>2</sup>, con un aporte medio de 36 hm<sup>3</sup>/año y una tasa de extracción de 23 hm<sup>3</sup>/año. Se trata de aguas duras, con un valor medio de CaCO<sub>3</sub> de unos 330 mg/l, mineralización intermedia (con-

ductividad media 545 µS/cm), y facies cloruradas sódicas en sectores próximos al litoral. Las extracciones locales excesivas pueden provocar su salinización por intrusión marina<sup>1</sup>.

El índice de peligrosidad de contaminación del acuífero obtenido mediante el empleo del SIG para la zona de estudio fue de 79,2, lo que supone un riesgo alto de contaminación del acuífero (Tabla 1), enfatizando la necesidad de hacer un estudio más en profundidad de las actividades de la zona.

#### Información demográfica de la zona

Dado que el PIC se encontraba aún en fase de construcción en el momento de desarrollo del presente estudio, la población actual del polígono que podría verse abastecida por el agua procedente de las captaciones en estudio es muy reducida. No obstante, se prevé que en el polígono exista hasta un total de 493 parcelas donde se establecerán algunas industrias alimentarias. Es por tanto de vital importancia el diseño de un plan de control que garantice la salubridad de estas aguas.

#### Usos del suelo y actividad de la zona

La zona de estudio estaba clasificada como suelo no urbanizable sin protección, siendo reclasificado en el año 2003 a suelo apto para urbanizar de uso industrial. Antes de que se construyera el polígono, era una zona con una orografía complicada y con poca vegetación<sup>14</sup>.

La actividad agrícola de la zona es de baja significación, no así la actividad ganadera. La carretera que divide el polígono en dos partes se ha construido sobre la vía pecuaria "vereda de Gaucín a Estepona" a través de la cual se trasladaba el ganado en la época de la trashumancia. Asimismo, existe en las proximidades de las captaciones 2 explotaciones de bovino, 1 explotación equina, 4 explotaciones ovinas (siendo una de ellas de más de 200 cabezas). La peligrosidad de esta actividad en relación a la posible contaminación de suelos, subsuelos y aguas subterráneas no es, sin embargo, tan acusada como la asociada con explotaciones de tipo intensivo donde el volumen de residuos sólidos (estiércol), líquidos (purines) o de tratamientos químicos o farmacéuticos pueden llegar a constituir una importante amenaza. Aún así es importante tenerla en cuenta en la identificación de peligros.

La PT-RSU ubicada en las proximidades (Figura 1) trata alrededor de 240.000 toneladas/año de RSU procedentes de 9 municipios de la Costa del Sol y recicla algo más de 5.000 T/año de envases. En el tratamiento de los RSU se separa la materia orgánica empleada para la elaboración de COMPOST de la fracción denominada rechazo lleva-

da al vertedero controlado. Este vertedero se encuentra impermeabilizado con tres capas de material especial, existiendo además en su base conducciones que recogen los lixiviados que se van formando para conducirlos a un depósito (estos lixiviados son reutilizados posteriormente para humedecer nuevas capas de basura). Para el control de la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas se llevan a cabo análisis trimestrales en tres piezómetros situados aguas arriba y aguas abajo de la planta.

A una distancia aproximada de unos dos kilómetros se encuentra un antiguo vertedero sin ningún tipo de medida de protección sellado hace 10 años por el Ayuntamiento de Estepona. Se desconoce el tipo de material almacenado.

Aunque en la actualidad el PIC no se encuentra en funcionamiento y por tanto la actividad allí desarrollada no es una fuente activa de peligros potenciales que pudieran afectar al agua de los pozos, deberá ser tenida en cuenta en un futuro plan de control y vigilancia.

#### Datos existentes sobre calidad del agua de pozos

Un resumen de los datos analíticos más significativos del agua de los pozos se muestra en la Tabla 2. De los resultados obtenidos cabe señalar que no se han encontrado niveles que excedan los límites establecidos en la legislación en el caso de metales pesados, nitratos o nitritos, aunque la limitación de los datos no permite descartar totalmente tales peligros. Asimismo, destacan

los valores de conductividad y pH, que vienen a sugerir que los pozos 3 y 4 proceden de un acuífero distinto a los pozos 1 y 2. Los análisis microbiológicos por su parte indican una elevada contaminación que podría estar relacionada con los lixiviados procedentes del vertedero<sup>14</sup>, con los vertidos incontrolados de la red de saneamiento de la localidad de Casares o con la actividad ganadera de la zona.

#### 2.- Propuesta de rutas de exposición potenciales

La Tabla 3 recoge un resumen de las vías de exposición más probables. Conforme al contexto que nos ocupa, las fuentes de peligros más relevantes la constituyen los lixiviados de vertederos, en especial el vertedero antiguo clausurado. En menor medida es importante también tener en cuenta las posibles aportaciones a las aguas subterráneas derivadas de la actividad ganadera, destacando el problema de lavado de nitratos (Tabla 4). Se ha encontrado una carga importante de coliformes totales en todos los pozos. Esto sugiere que se deben investigar posibles filtraciones de la red de saneamiento de las poblaciones colindantes.

#### 3.- Identificación de los peligros más significativos

Los peligros más significativos identificados en otros estudios que podrían afectar a la calidad de las aguas de los pozos conforme a las actividades que se dan en la zona, se encuentran resumidos en la Tabla 4. En ella se describen además los posibles efectos en salud relacionados con cada uno de los peligros señalados. Dentro

Tabla 2. Resumen resultados de análisis de control de las aguas de los pozos

Parámetro	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4
E. Coli (u.f.c./100 ml)	50	190	11	50
Enterococos (u.f.c./100 ml)	35	0	6	500
Clostridium perfringes (u.f.c./100 ml)	33	63	99	99
Coliformes Totales (u.f.c./100 ml.)	1.500	1.600	1.600	1000
Colonias a 22° C (u.f.c./100 ml)	290	300	120	500
pH	7,5	7,6	10	8,6
Conductividad (μS/cm)	655	673	313	480

Tabla 3. Evaluación de posibles rutas de exposición que podrían afectar a la población que ocupase el PIC

Actividad de riesgo	Medio afectado	Punto de exposición	Vía-exposición	Población afectada	Tipo de vía
Ganadera (purines y estiércol)	Suelos	Suelos	Oral	Residentes	Presente/pasada/Futura
	Aguas subterráneas	Agua del pozo	Oral	Trabajadores del PIC	Presente/pasada/Futura
Vertedero sellado (principal) y Planta-RSU (menor medida)	Suelos	Suelo (limitado)	Oral /inh	Trabajadores del PIC	Presente/pasada/Futura
	Aguas subterráneas	Agua del pozo	Oral/ inh	Trabajadores del PIC	Presente/pasada/Futura
		Alimentos elaborados con el agua	Oral	Consumidores (distribución dispersa)	Futura

Tabla 4. Identificación de contaminantes de interés que podrían afectar a la salubridad de las aguas de los pozos en el PIC (exposición vía oral) en relación a las actividades de riesgo en el PIC

Peligro potencial	Actividad de riesgo	Efectos en salud
Nitratos y nitritos	Lixiviados vertederos Purines y estiércol actividad ganadera	Metemoglobinemia (mayor riesgo para lactantes y embarazadas)* <sup>16</sup> Efectos tóxicos sobre la reproducción y potencial carcinogénico** <sup>17</sup>
Metales pesados: Arsénico	Lixiviados vertederos	Muerte a dosis alta; alteraciones cardiovasculares y dérmicas; alteraciones gástricas a dosis bajas* <sup>18</sup> Cáncer de piel* y diferentes cánceres internos (riñón, hígado, pulmón, y vejiga)** <sup>19, 20</sup>
Tetracloroetano <sup>20</sup>	Lixiviados vertederos	Disminución de la presión sanguínea y posiblemente pérdida del conocimiento* <sup>22</sup> . Induce tumor hepático en ratas de laboratorio. No clasificado por IARC en cuanto a su carcinogenicidad** <sup>22</sup>
Cloruro de Vinilo <sup>23</sup>	Lixiviados vertederos	Posible daño hepático, renal y pulmonar** <sup>24</sup> Potencialidad de carcinogenicidad no probada** <sup>24</sup>

\* Efecto en salud probado; \*\* Efecto en salud en estudio pero no probado

de los metales pesados uno muy preocupante es el arsénico<sup>18,19,20</sup> pero deberían incluirse otros como mercurio, plomo y níquel.

Otro grupo de peligros comúnmente relacionados con lixiviados de vertederos son los compuestos orgánicos volátiles entre los que destacan compuestos como el 1,1,2,2-tetracloroetano<sup>21,22</sup> y el cloruro de vinilo<sup>23,24</sup>. En ambos casos la vía más peligrosa de exposición relacionada con efectos en salud es la vía inhalatoria y no la oral. Pese a ello, ambos contaminantes deben ser incluidos en futuros planes de muestreo y control de la calidad del agua de los pozos.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología de ERSP ha permitido a los agentes de control oficial sistematizar la búsqueda

de la mejor evidencia científica para decidir qué peligros podrían afectar a la salubridad de las aguas de las captaciones del PIC, y qué controles deben llevarse a cabo en el futuro.

## REFERENCIAS

1. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE)- Junta de Andalucía. Atlas Hidrogeológico de Andalucía. 1998. ISBN: 84-7840-351-5. Disponible en: [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1\\_HR/libro110/lib110.htm](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro110/lib110.htm). (Acceso 15.05.2010)
2. Zamorano M, Calvo F, Moreno B y Ramos A. Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2007, 11 (1): 98-115
3. WHO, Regional Office for Europe. Population health and waste management: scientific data and policy options. Report of a WHO Workshops. Rome, Italy, 29-30 March 2007 (Edited by: Mitis F, Mar-

- tuzzi M.), Copenhagen, 2007. Disponible en: <http://www.euro.who.int/document/e91021.pdf> (Acceso 11.05.2010)
4. Vrijheid M: Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect* 2000, 108 (suppl 1):101-112.
  5. Porta D, Milani S, Lazzarino A I, Perucci C and Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environmental Health* 2009, 8:60.
  6. Centro Español de Residuos (CER). Situación presente y futura de los vertederos en la Unión Europea. 2000. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/verteder/verteder.pdf> (Acceso 11.05.2010)
  7. Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TH. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. *Critical reviews In Environmental Science and Technology* 2002, 32(4):297-336
  8. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE num. 45 de 21 de febrero.
  9. Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Web en español: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/es\\_index.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/es_index.html). Web oficial: <http://www.atsdr.cdc.gov/> (Acceso 11.05.2010)
  10. Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Public Health Assessment Guidance Manual (2005 Update). Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/PHAMannual/index.html> (Acceso 15.05.2010)
  11. Sistema de Información Geográfica (SigMapa)-Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. Disponible en: <http://sig.mapa.es/geoportal/> (Acceso 15.05.2010)
  12. Agencia Andaluza del Agua. Consejería de medio Ambiente-Junta de Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web> (acceso 15.05.2010)
  13. Vías Martínez JM, Perles Roselló MJ, Andreo Navarro B. Cartografía de peligrosidad de contaminación de las aguas subterráneas mediante un SIG. Aplicación al acuífero de la Sierra de Mijas (Málaga). En: Conesa García C, Álvarez Rogel Y, Martínez Guevara JB, editores. Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales: Análisis mediante Tecnología SIG y Teledetección. Universidad de Murcia; 2004. p. 347-360.
  14. Sistema de Información Geográfica de parcelas agrícolas-Junta de Andalucía Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac/servlet/sigpac> (acceso 15.05.2010)
  15. Jones DRV, Dixon N. Landfill lining stability and integrity: the role of waste settlement. *Geotextiles and Geomembranes* 2005; 23: 27-53
  16. Powlson DS, Addiscott TM, Benjamin N, Cassman KG, de Kok TM, van Grinsven H, L'Hirondel JL, Avery AA, van Kessel C. When does nitrate become a risk for humans? *J Environ Qual.* 2008 Feb 11;37(2):291-5
  17. Manassaram DM, Backer LC, Moll DM. A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. *Environ Health Perspect.* 2006 Mar;114(3):320-7.
  18. ATSDR Toxfact sobre arsénico (agosto 2007). Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts2.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.pdf) (Acceso 16.06.2010)
  19. International Agency for Research on Cancer (IARC). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic. Volume 84, 2004
  20. Schuhmacher-Wolz U, Dieter HH, Klein D, Schneider K. Oral exposure to inorganic arsenic: evaluation of its carcinogenic and non-carcinogenic effects. *Crit Rev Toxicol.* 2009;39 (4):271-98.
  21. ATSDR- HC- Miller Bottom road municipal solid waste landfill. Conyers, Rockdale County, Georgia. 2007. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/MillerBottomRd/MillerBottomRoadHC032807.pdf>. (acceso 16.06.2010.2010)
  22. ATSDR Resumen en salud sobre tetracloroetano (septiembre 2008). Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs93.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs93.pdf) (Acceso 16.06.2010)
  23. Kielhorn J, Melber Ch, Wahnschaffe U, Aitio A, Mangelsdorf. Vinyl Chloride: Still a Cause for Concern. *Environ Health Perspect* 2000, 108:579-588.
  24. ATSDR Resumen em salud sobre cloruro de vinilo (julio 2006). Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs20.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs20.pdf) (Acceso 16.06.2010)