

Aspectos sanitarios de las fuentes no conectadas a la red de abastecimiento de agua para consumo humano

HEALTH ASPECTS OF SOURCES NOT CONNECTED TO THE WATER SUPPLY NETWORKS

Elisa María GARCÍA RUIZ, Matilde MOLINA LÓPEZ, Elena MORENO ROLDÁN, Elena ESPIGARES RODRÍGUEZ, Milagros FERNÁNDEZ-CREHUET NAVAJAS

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. E-18071 Granada, España. Correo-e: fcrehuet@ugr.es

INTRODUCCIÓN

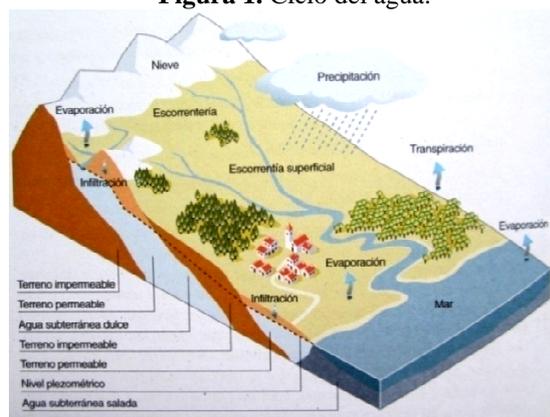
El agua es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y para el ejercicio de la mayoría de las actividades económicas; irremplazable, no ampliable por la mera voluntad del hombre, irregular en su forma de presentarse en el tiempo y en el espacio, fácilmente vulnerable y susceptible de usos sucesivos. Asimismo, el agua constituye un recurso unitario, que se renueva a través del ciclo hidrológico (Ley 29/1985, de Aguas).

El agua en la naturaleza puede presentarse en estado sólido, líquido y gaseoso, pasando de forma continua de un estado a otro. Es un recurso reciclable que, en términos globales, permanece constante y cuyo ciclo comienza en la condensación del vapor atmosférico y precipitación, en forma de lluvia o nieve, para llegar al suelo (ciclo hidrológico o ciclo del agua). Una pequeña parte del agua que alcanza el suelo queda retenida en las irregularidades del terreno, *almacenamiento superficial*; otra parte circula por ríos y arroyos para ir a parar a los lagos o al mar, *escorrentía superficial*; y otra parte se infiltra en el terreno, bien en capas someras quedando disponible para su utilización por los seres vivos y posteriormente pasar al estado de vapor por evaporación o transpiración, evapotranspiración, o bien por percolación a capas profundas, *aguas subterráneas*, donde tras la circulación en el manto acuífero, puede aflorar por manantiales e incrementar la *escorrentía superficial*.

Cada una de las fases del ciclo hidrológico se va a ver influenciada por el volumen y la distribución de

las precipitaciones, las características y capacidad de retención del suelo, así como por su cobertura vegetal. En Andalucía, el ciclo se caracteriza por presentar una fuerte disminución del caudal de agua superficial durante los tres o más meses al año que duran las altas temperaturas, en los cuales los ríos pueden llegar a secarse por ausencia de lluvia e incremento de la evaporación.

Figura 1. Ciclo del agua.



Fuente: Blancas y Hervás, 2001.

El hombre interviene en este ciclo natural captando y canalizando el agua desde la naturaleza hasta los puntos de consumo, adecuándola a las exigencias de calidad según su destino, urbano, industrial o agrícola y, finalmente depurando las

aguas residuales. Tras la intervención humana en este ciclo natural se habla de ciclo integral del agua.

Las aguas continentales superficiales, así como las subterráneas renovables, integradas todas ellas en el ciclo hidrológico, constituyen un recurso unitario, subordinado al interés general, que forma parte del dominio público estatal como dominio público hidráulico (Texto refundido de la Ley de Aguas, R.D.L. 1/2001).

Constituyen el dominio público hidráulico del Estado: las aguas continentales, los cauces de corrientes naturales, los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos, los acuíferos y las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.

Todos pueden, sin necesidad de autorización administrativa y de conformidad con lo que dispongan las leyes y reglamentos, usar de las aguas superficiales, mientras discurren por sus cauces naturales, para beber, bañarse y otros usos domésticos, así como para abreviar el ganado. Estos usos comunes habrán de llevarse a cabo de forma que no se produzca una alteración de la calidad y caudal de las aguas.

Las concesiones administrativas para el uso de las aguas se otorgarán, por parte de los organismos de las cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta la explotación racional conjunta de los recursos superficiales y subterráneos. En las concesiones se observará, a efectos de su otorgamiento, el orden de preferencia que se establezca en el Plan Hidrológico de la cuenca correspondiente, teniendo en cuenta las exigencias para la protección y conservación del recurso y su entorno (Texto refundido de la Ley de Aguas, R.D.L. 1/2001).

A falta de dicho orden de preferencia regirá con carácter general el siguiente:

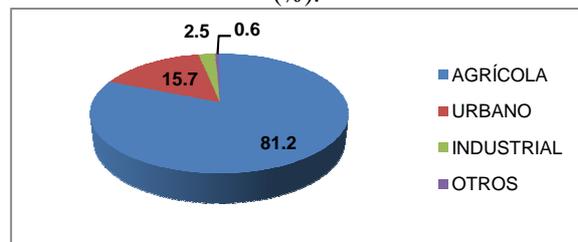
- 1º. Abastecimiento de población, incluyendo en su dotación la necesaria para industrias de poco consumo de agua, situadas en los núcleos de población y conectadas a la red municipal.
- 2º. Regadíos y usos agrarios.
- 3º. Usos industriales para producción de energía eléctrica.
- 4º. Otros usos industriales no incluidos en los apartados anteriores.
- 5º. Acuicultura.
- 6º. Usos recreativos.
- 7º. Navegación y transporte acuático.
- 8º. Otros aprovechamientos.

Sin embargo, la distribución por sectores del consumo de agua en Andalucía (figura 2) muestra una realidad: el elevado uso del agua en el sector agrícola, especialmente el tradicional. Este sector, por tanto, verá condicionada su competitividad por la gestión que haga de este bien en situaciones de escasez.

No se puede establecer una correcta política del agua sin considerar su repercusión económica sobre el sector agrícola en España y por tanto por las consideraciones sociales que tiene en los asentamientos humanos en el territorio y sus flujos

migratorios del campo a la ciudad, su consideración de bien social imprescindible para el bienestar y la salud del ser humano, y también la incidencia que tiene sobre la ecología y la gran capacidad que tiene de modificar la naturaleza (López, 2012).

Figura 2. Importancia relativa de los usos del agua (%).



Fuente: Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2012.

Según el uso al que se destine, varían los requisitos de calidad del agua. Así, su utilización para riego, fuentes ornamentales, o limpieza viaria no requiere que su calidad sanitaria sea elevada. Sin embargo, para el consumo directo o aseo personal, el agua empleada debe tener una calidad especial que garantice la falta de riesgos para la salud. Es la legislación sanitaria quien contempla los criterios de calidad y los requisitos higiénico-sanitarios de las captaciones, los tratamientos y la distribución de las aguas de consumo humano.

El artículo 5 del R.D. 140 de 2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, detalla que el agua deberá ser salubre y limpia, entendiéndose por tal aquella que no contenga ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana, y cumpla con los requisitos especificados en las partes A y B del anexo I. Los valores incluidos en éste anexo se basan principalmente en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y en motivos de salud pública aplicándose, en algunos casos, el principio de precaución para asegurar un alto nivel de protección de la salud de la población (R.D. 140/2003).

Los principales aspectos que influyen en la calidad del agua son, en orden de importancia variable según las distintas situaciones, el vertido de aguas residuales insuficientemente tratadas, los controles inadecuados de desechos industriales, la destrucción de las zonas de captación, la deforestación y las prácticas agrarias incorrectas (Pérez et al, 2001).

PROCESOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La ley de aguas entiende por contaminación “la acción y el efecto de introducir materias o formas de

energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana, o con los ecosistemas acuáticos o terrestres directamente asociados a los acuáticos” (Texto refundido de la Ley de Aguas, R.D.L. 1/2001).

El agua a lo largo de su ciclo natural va adquiriendo una serie de sustancias, ya sea en su contacto con el aire o con el suelo. En relación a los procesos contaminantes podemos diferenciar:

- Contaminación natural, resultado del equilibrio dinámico de la tierra, actividad geofísica y fases del ciclo natural del agua.
- Contaminación artificial (antropogénica), resultado de la actividad humana, que genera sustancias ajenas a la composición natural del agua o modifica las concentraciones de las ya existentes.

Los procesos contaminantes se encuentran afectados por las características del medio receptor, los usos del agua y calidades exigidas a la misma, aportes hídricos indirectos en relación a las características de la zona y otros factores que afecten a la dispersión de los contaminantes (Blancas y Hervás, 2001).

El origen de la contaminación antropogénica de las aguas está ligado a alguna de estas cuatro actividades:

a) *Urbanas*

Consecuencia de la inadecuada eliminación y ubicación de los residuos, junto a las aguas residuales urbanas procedentes de usos domésticos y sanitarios, así como de la limpieza de calles (aguas negras). Contienen fundamentalmente contaminantes orgánicos así como detergentes, aceites, etc.; también bacterias, virus y otros microorganismos acompañando a algunos de los anteriores. Son aguas, por tanto, que conforman una mezcla de gran complejidad (Pérez y

Espigares, 1999).

b) *Agrícolas*

Debido fundamentalmente a la utilización de fertilizantes y biocidas en exceso, así como a la presencia de alpechín y otros residuos agrícolas. Los fertilizantes son ricos en compuestos nitrogenados y fosforados, siendo lavados y arrastrados de la superficie por lluvias y escorrentías, que los conducen a cauces de ríos y de ahí a lagos o embalses favoreciendo su eutrofización. Por otra parte, muchos de los biocidas utilizados en la agricultura presentan una alta toxicidad y persistencia, con alta capacidad de acumulación en los organismos vivos.

c) *Ganaderas*

Debida a compuestos orgánicos y biológicos procedentes de residuos de instalaciones ganaderas y purines de animales estabulados. Las aguas utilizadas en las explotaciones ganaderas, sobre todo para operaciones de limpieza, pueden arrastrar el estiércol, los purines producidos, así como restos de plaguicidas de origen ganadero. Por otra parte, el pastoreo de ganado representa una fuente potencial importante de contaminación microbiana y química.

En algunos casos los manantiales de agua abastecen abrevaderos contiguos lo que da lugar a un tránsito continuo de ganado que puede contaminar con sus heces las captaciones de agua. Por otra parte la presencia de maleza próxima a los manantiales supone un riesgo por sí misma, ya que la descomposición de los restos vegetales puede alterar parámetros como la turbidez, oxidabilidad o compuestos nitrogenados del agua; pero también una espesa maraña vegetal facilita la presencia de pájaros y roedores cuyas excretas pueden también contaminar el agua (Rodríguez García et al, 2003).

d) *Industriales*

Es la contaminación más diversa, compleja y en muchos casos, difícil de eliminar. Es la actividad más contaminante de las aguas (Blancas y Hervás, 2001).

Tabla 1. Tipos de contaminación del agua.

<i>QUÍMICA</i>	<i>FÍSICA</i>	<i>BIOLÓGICA</i>
<i>Biodegradable:</i> oxidación aeróbica por microorganismos en función de la capacidad de depuración del ecosistema	<i>Radiactividad:</i> de fuentes naturales o antropogénicas. Ocurre acumulación a lo largo de la cadena trófica	<i>Bacterias, virus y protozoos:</i> que de ser patógenos para el hombre, dan lugar a enfermedades de transmisión fecohídrica o parasitosis
	<i>Contaminación térmica:</i> influye en fenómenos de solubilidad y en reacciones biológicas. Facilita el desarrollo de organismos patógenos	
<i>No biodegradable:</i> se acumulan en el ecosistema y pueden multiplicar la acumulación en la cadena trófica	<i>Partículas groseras y coloides:</i> interfieren con las radiaciones luminosas, disminuyendo la flora aerobia y los fenómenos de autodepuración	

Son aguas de composición muy variada y peligrosa en cuanto a los productos objeto del vertido, entre los que se pueden hacer presentes sustancias tóxicas, que alteran el receptor hídrico modificando su pH y temperatura, lo que puede desencadenar diferentes procesos de disolución y precipitación (Pérez y Espigares, 1999).

Según la composición de los contaminantes podemos diferenciar diversos tipos, como se muestra en la tabla 1.

Las aguas continentales, superficiales o subterráneas, están estrechamente relacionadas existiendo con frecuencia intercambio entre ambas. En condiciones naturales, las aguas superficiales tienen una descarga considerable y un almacenamiento pequeño. Con las aguas subterráneas ocurre lo contrario, comparándolas con las superficiales su circulación es reducida pero su almacenamiento es considerable. También hay diferencia en su composición química ya que, en general, las aguas superficiales están más expuestas a la contaminación, mientras que el terreno puede actuar de filtro para las aguas subterráneas.

Centrándonos en el uso del agua para abastecimiento urbano, es decir su consumo directo por el hombre, su origen podrá estar bien en aguas superficiales, en aguas subterráneas o bien en aguas marinas. El origen del agua de las fuentes no conectadas a la red de distribución son las aguas subterráneas, por lo que nos centraremos en los procesos de contaminación de las mismas.

En cualquier caso, el grado de alteración tolerable en aguas de consumo humano viene marcado por unos valores concretos, establecidos en la legislación vigente (R.D. 140/2003). El análisis de una muestra representativa del agua de un abastecimiento indicará, por comparación con los valores establecidos en la normativa, si el contenido de alguno de sus componentes es excesivo (Nnane, 2011).

CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Estas aguas, en general, se han considerado símbolo de pureza. Se obtienen a través de manantiales y pozos. Son aguas caracterizadas por:

- Ubicación invisible y relativamente inaccesible.
- Acuíferos de enorme magnitud.
- Caudales muy bajos, con escasa movilidad.

Cumplen funciones muy importantes de orden económico, ecológico y en el campo de la salud pública; entre otros usos, las aguas subterráneas constituyen una fuente importante de agua para consumo público.

Su disponibilidad como recurso natural para el consumo está limitada por tres factores:

- Renovación de las aguas subterráneas por la precipitación.
- Calidad del agua utilizada para la recarga de acuíferos.
- Características del suelo y del acuífero.

Dependiendo de las características del terreno, son aguas que se pueden contaminar fácilmente cuando están próximas a viviendas, concentraciones de animales o vertederos. El problema de la contaminación de las aguas subterráneas es difícil de tratar. Es una contaminación que carece de un diagnóstico precoz, en general, por lo que suele detectarse cuando ya es tarde. La recuperación de la calidad de las aguas subterráneas alterada por los procesos de contaminación y de sobreexplotación necesita largos periodos de tiempo.

Su calidad viene determinada por la composición del terreno. Así, las aguas que penetran por terrenos arenosos, por efecto de la filtración, están menos contaminadas que las que discurren por terrenos arcillosos, que son más impermeables, por lo que el agua no se filtra sino que circula alrededor de las grietas, recogiendo todas las impurezas a su paso.

Un acuífero es el conjunto formado por una capa o formación geológica permeable y el agua contenida en sus poros o fisuras a través de las cuales circula por acción de la gravedad. Puede asimilarse a un depósito subterráneo que, por una parte, recibe por infiltración y percolación desde la superficie del terreno el agua de lluvia o de los ríos, y que por otra se descarga en fuentes o manantiales naturales, y también en pozos y sondeos realizados por el hombre (Blancas y Hervás, 2001).

Las aguas subterráneas pueden sufrir distintos tipos de contaminación. Así, puede ocurrir una contaminación directa o puntual, sin dilución, cuando los contaminantes se introducen en el subsuelo y alcanzan directamente el acuífero, o bien una contaminación indirecta o difusa, con dilución, cuando se produce mediante la recarga natural del acuífero, por ejemplo, la infiltración de aguas procedentes del arrastre del exceso de contaminantes de origen agrícola. También se dan otras situaciones, completamente distintas, como la lenta entrada subterránea del agua del mar en zonas costeras con bombeos excesivos; esta intrusión marina conlleva la creciente mezcla de agua salada con la dulce del acuífero, llegando a hacer a esta última inutilizable.

La contaminación puede estar produciéndose en sitios muy localizados y puntuales, o bien en amplias extensiones de terreno. El paso de las sustancias contaminantes a lo largo de los intersticios del acuífero, hace que parte de estas sustancias queden retenidas. Como consecuencia, resulta técnicamente complejo rehabilitar un acuífero ya contaminado; el coste es elevado en la mayoría de los casos, y la solución más frecuente es su abandono.

Por lo general, el agua subterránea se mueve muy lentamente y responde con gran inercia a las acciones exteriores, lo que es importante a la hora de prevenir, vigilar o eliminar la contaminación de un acuífero.

Se puede concluir que la manera más eficaz de mantener la calidad de las aguas subterráneas para que puedan seguir siendo utilizadas, consiste en

garantizar su protección frente a la contaminación (Blancas y Hervás, 2001).

CONTAMINACIÓN POR COMPUESTOS NITROGENADOS

El nitrógeno en el agua puede tener principalmente dos orígenes:

- *Nitrógeno orgánico*: debido a contaminación orgánica, casi siempre de origen residual. Este nitrógeno se transforma sucesivamente en nitrógeno amoniacal, nitrito y nitrato, en función del tiempo y de la capacidad de oxidación del medio. En aguas muy contaminadas la evolución puede bloquearse en nitrito y en condiciones anaerobias, es decir, en ausencia de oxígeno, los nitratos pueden evolucionar en sentido contrario:

Nitratos → Nitritos → Amoniacal →
Nitrógeno gaseoso (forma neutra)

- *Nitrógeno inorgánico*: contaminación debida principalmente al lavado de suelos ricos en nitratos como consecuencia de prácticas agrícolas. Esta contaminación en forma de nitratos suele ser bastante estable y difícilmente reversible.

En las aguas superficiales el nitrógeno puede encontrarse formando parte tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. El consumo de compuestos nitrogenados como fertilizantes en las prácticas agrícolas en Andalucía es considerable. Dado que la velocidad con la que se aportan estas sustancias es mayor que la velocidad con la que se degradan, se produce una contaminación del suelo, con el consiguiente riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Estos compuestos van filtrándose hacia capas progresivamente más profundas hasta que se concentran en las capas freáticas, es decir, aquellas capas más superficiales de los acuíferos que son susceptibles de ser explotadas mediante pozos, o bien por escorrentía, llegan hasta las aguas superficiales (Maldonado et al, 2011; Blancas y Hervás, 2001).

La utilización indiscriminada de fertilizantes nitrogenados plantea una gran preocupación a distintos niveles en Andalucía debido a que su uso inadecuado genera una repercusión económica, introduce importantes impactos e indirectamente puede plantear *problemas de salud pública* ligados al consumo de agua. Una de las acciones más importantes de los nitritos es que originan metahemoglobinemia infantil, cuya gravedad se acrecienta debido a que se suman los nitritos generados a partir de los nitratos a consecuencia de la acción bacteriana nivel estomacal, por la aclorhidria; por otra parte, aunque nitratos y nitritos no son directamente carcinógenos, pueden aumentar el riesgo de cáncer en el hombre, debido a la formación endógena y exógena de nitrosaminas (Espigares et al, 2001).

La concentración de nitratos de origen natural en las aguas es, generalmente, de unos pocos miligramos por litro, sin embargo, se ha observado en numerosas ocasiones en las aguas subterráneas que esta concentración aumenta hasta varios centenares de miligramos por litro, debido a la intensificación de las prácticas agrícolas (Cruz et al, 2012).

En los vertidos urbanos, el nitrógeno tiene principalmente por origen la orina, que está compuesta por urea, ácido úrico, creatinina y nitrógeno amoniacal. La mayor parte de estos compuestos dan muy rápidamente amoniaco por hidrólisis.

Los residuos industriales son también una fuente importante de nitrógeno, sobre todo los procedentes de instalaciones agrícolas, alimentarias e industrias químicas. Así, resulta que según el mayor o menor grado de industrialización de la zona, la aportación de nitrógeno a las aguas debida a los vertidos domésticos, industriales, agrícolas y ganaderos, será extremadamente variable.

La presencia de *amoniacal* señala un proceso de degradación de materia orgánica. Por ello esta presencia se considera como una prueba química de contaminación orgánica más o menos peligrosa y reciente. Por esta razón la contaminación por amoniaco suele indicar contaminación microbiológica.

Los contenidos de nitratos en las aguas de las redes de distribución no son elevados, no es lo mismo en las aguas de pozos o fuentes no conectadas a redes municipales donde se pueden presentar concentraciones relativamente importantes. En este caso, los nitratos tienen habitualmente por origen una nitrificación del nitrógeno orgánico, pero también pueden proceder de la disolución de los terrenos atravesados que los contiene. Con la captación de estas aguas para el consumo a través de la red pública de abastecimiento, se completa el ciclo que permite pasar a los nitratos del medio natural al organismo humano (Blancas y Hervás, 2001).

Los *nitritos* pueden encontrarse de forma natural en las aguas, aunque generalmente en pequeñas concentraciones. Proviene bien de una oxidación incompleta del amoniaco, bien de una reducción de los nitratos bajo la influencia de una acción desnitrificante. Al igual que en el caso de los nitratos, es frecuente su uso como aditivo autorizado en la industria alimentaria.

Los nitritos y el amoniaco, entre otras sustancias, se consideran como indicadores indirectos de contaminación fecal. Un agua que contiene nitritos puede considerarse sospechosa desde el punto de vista sanitario. Sin embargo, para interpretar correctamente los resultados, será necesario tener en cuenta los contenidos de nitrógeno amoniacal, de materias orgánicas y el examen microbiológico (Maldonado et al, 2011).

Al mismo tiempo, las aguas que están en contacto con ciertos terrenos y conducciones pueden contener

nitritos de forma natural, al igual que aquellas que son pobres en oxígeno al haber sido captadas en sondeos profundos. La eliminación de los compuestos nitrogenados de las aguas que ya han sido contaminadas es difícil:

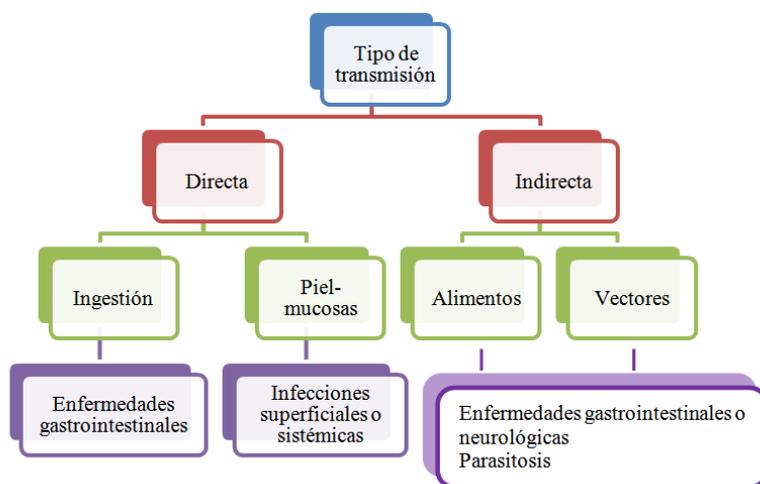
- Los iones amonio pueden convertirse en cloraminas, pero para ello se necesitan concentraciones de cloro diez veces mayores que las utilizadas normalmente en la desinfección, teniendo en cuenta que ni el dióxido de cloro ni el ozono actúan sobre estos compuestos. Podrían eliminarse también por nitrificación y aireación, para lo cual habría que prescindir de la precloración para no eliminar las bacterias implicadas en este tratamiento.
- Los nitritos se oxidan fácilmente a nitratos en presencia de cloro u ozono.

La eliminación de los nitratos puede resultar más compleja y podría llevarse a cabo por desnitrificación biológica en condiciones de anaerobiosis, intercambio iónico e incluso mediante ósmosis inversa (Blancas y Hervás, 2001).

CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DEL AGUA

El origen de la contaminación biológica del agua, por orden de importancia, son las excretas humanas y animales, así como las aguas residuales y los microorganismos medioambientales. Tanto las excretas humanas como las de animales pueden contener una alta carga bacteriana, de virus y de parásitos, tanto protozoos como helmintos. El agua debido a su gran capacidad disolvente, vehiculiza todos aquellos agentes patógenos que se eliminan por heces y orina de enfermos y portadores de una comunidad, en cantidad suficiente como para producir enfermedades de las denominadas de transmisión hídrica (Pérez y Espigares, 1999).

Figura 3. Mecanismos de transmisión de los agentes patógenos por el agua.



Los principales mecanismos de producción de la contaminación biológica del agua se muestran en la siguiente tabla:

Medio	Contaminación de	Por
Urbano	Manantiales Aguas superficiales Cauces	Filtración desde red de alcantarillado a red de distribución
Rural	Pozos Manantiales	Filtración de pozos negros u otros mecanismos no higiénicos de recogida de excretas y basuras. Pastoreo, ...

Para predecir la forma de transporte de bacterias fecales se requiere un conocimiento profundo de la relación entre la contaminación microbiana y factores ambientales como la precipitación, la temperatura, el suelo y la fracturación del terreno. En acuíferos de piedra caliza el periodo de recarga tiene lugar entre los meses de octubre a junio, alcanzando un pico en abril. Julio, agosto y septiembre son meses en que predomina el calentamiento y la evapotranspiración. Las precipitaciones discontinuas causan una migración intermitente de microorganismos a través del suelo, ocurriendo un avance articulado en la primavera. Las cortas distancias de transporte de las bacterias en el suelo, conllevan una significativa variabilidad de la contaminación bacteriana (Celico et al, 2004).

Como el agua no es un buen medio de cultivo y además operan mecanismos de autodepuración, las posibilidades de supervivencia y multiplicación de los microorganismos son escasas. De ahí que las enfermedades hídricas se produzcan cuando la transmisión es rápida, esto es, cuando el tiempo que media entre la contaminación del agua y su consumo es breve (Pérez y Espigares, 1999). Tras abandonar el huésped, los agentes patógenos pierden progresivamente su viabilidad y su capacidad infectiva pérdida que es, en general, de tipo exponencial, de forma que transcurrido cierto tiempo no es posible detectar el patógeno en el agua.

Por lo general, la contaminación fecal se dispersa rápidamente en las aguas superfi-

ciales, de ahí que los microorganismos patógenos y parásitos de alta infecciosidad y/o resistencia fuera del organismo sean los transmitidos directamente por el agua de bebida; los que poseen baja persistencia y necesitan con urgencia un huésped, suelen ser transmitidos por contacto directo persona-persona, por los alimentos o por prácticas higiénicas deficientes.

Los mecanismos de transmisión de los agentes patógenos por el agua se recogen en la figura 3.

Existen numerosos factores que influyen en la persistencia de los agentes biológicos en el agua, patógenos o no. Su desarrollo se ve favorecido por cantidades relativamente altas de materia orgánica biodegradable, temperaturas elevadas y bajas concentraciones de cloro residual. Por contra, el descenso de temperatura y las radiaciones ultravioleta solares sobre las capas superficiales del agua pueden tener efectos letales sobre estos agentes (Espigares et al, 2001).

Es necesaria la protección de los recursos hídricos frente a la posible contaminación por residuos de origen humano o animal y su tratamiento eficaz, dado que existe el peligro de que se den brotes de las llamadas enfermedades de transmisión hídrica.

VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS FRENTE A LA CONTAMINACIÓN

El concepto de vulnerabilidad alude al riesgo de que se produzca un deterioro en la calidad de las aguas subterráneas por vertidos o actividades potencialmente contaminantes. Las áreas que se consideran vulnerables a la contaminación son aquellas en las que afloran materiales acuíferos, en las que se distinguen materiales carbonatados, con permeabilidad por fisuración y/o karstificación, y las ocupadas por materiales detríticos, con permeabilidad por porosidad intergranular.

Salvo excepciones, los acuíferos carbonatados poseen mayor riesgo de contaminación que los detríticos. Esto es debido a la mayor permeabilidad y transmisividad que suelen presentar, en especial aquellos con karstificación muy desarrollada, en los que la velocidad de circulación, y con ello la de propagación de la contaminación, es máxima, al tiempo que la capacidad de retención del contaminante y de autodepuración es muy limitada. Las características granulométricas y las condiciones de flujo más lento hacen que los materiales detríticos posean un mayor poder de retención de contaminantes y una mayor capacidad de autodepuración. Esto también implica que la regeneración es lenta y difícil, una vez que la contaminación se ha producido (Goeppert y Goldscheider, 2011).

Por otra parte existen áreas de vulnerabilidad variable, donde la heterogeneidad de los materiales, tanto en la vertical como en la horizontal, o el interés hidrogeológico de estos, hacen que se deban estudiar pormenorizadamente en cada caso concreto. Frente a

ellas, las áreas poco vulnerables son las formadas por materiales de menor permeabilidad. La vulnerabilidad de los municipios que componen la comarca de Albuñol se refleja en la tabla 1.

EL AGUA COMO VEHÍCULO DE ENFERMEDADES

Podemos establecer dos niveles de actuación relacionados con las enfermedades asociadas al consumo de agua:

- a) Relacionadas con el consumo insuficiente de agua: se originan trastornos por alteración del metabolismo del agua y el sodio.
- b) Relacionados con la calidad del agua: se pueden causar o favorecer la aparición de diversas enfermedades derivadas de la contaminación microbiológica, química y física.

Por añadidura existen mecanismos indirectos según los cuales la cantidad influye en la calidad, lo que es importante desde el punto de vista sanitario (Pérez y Espigares, 1999):

- a) Puede ocurrir un incremento en la concentración de iones por lavado del terreno y/o disminuir las posibilidades de autodepuración, en caso de que existan recursos hídricos limitados.
- b) Si existen cortes de suministro de agua se favorece el desarrollo de contaminación, que será arrastrada al restablecer el suministro.

En Andalucía se pueden señalar múltiples factores que condicionan la calidad y disponibilidad del agua (Plan Andaluz de Salud Ambiental 2008-2012): irregularidad de su clima, con periodos de sequía; la actuación del hombre sobre el medio, que desencadena deforestación, erosión y sedimentación, y la inadecuada gestión de infraestructuras de saneamiento y abastecimiento, ocurriendo fenómenos de contaminación difusa y vertidos.

Las enfermedades infecciosas de transmisión hídrica son aquellas causadas por agentes biológicos patógenos, que una vez que se han difundido por el agua, la usan como vehículo de transmisión. El principal riesgo deriva de la ingestión de agua con contaminación de origen fecal, aunque también existe distribución a través del agua de baño, del lavado de ropa, por aerosoles o inhalación de vapor de agua, e incluso por ingesta de alimentos regados con aguas contaminadas. Se mantiene así un reservorio de casos y portadores, lo que hace que el riesgo nunca se elimine por completo. Además existen numerosos factores ambientales que afectan a la aparición de este tipo de enfermedades, como la temperatura o la humedad.

Entre los agentes causantes de enfermedades de transmisión hídrica distinguimos:

- a) Patógenos que representan un riesgo grave para la salud.

- b) Patógenos de riesgo moderado para la salud. Se les atribuye baja patogenicidad o bien sólo causan enfermedad en inmunodeprimidos o, a pesar de originar enfermedades graves, la vía de transmisión es la inhalación o el contacto, no la ingestión.
- c) Patógenos oportunistas, que causan enfermedades graves por inhalación de agua, medio en el que se multiplican de darse altas temperaturas y medio nutritivo. Es el caso de *Legionella spp*, *Naegleria fowleri* o *Acanthamoeba spp*, así como una serie de parásitos que habitualmente se transmiten con la ingesta de alimentos o malas prácticas higiénicas (*Fasciola*, *Echinococcus*, *Ascaris*, ...).

Dado que la inmunidad individual varía por influencia de diversos factores como la edad, el sexo, el estado de salud y las condiciones de vida, o bien según sea el contacto con el patógeno, este tipo de infecciones es más frecuente en lactantes, niños pequeños, ancianos, personas debilitadas o enfermas o que viven en condiciones antihigiénicas. En estos casos la dosis infecciosa es significativamente menor que la de la población general (Leclerc et al, 2002; Fernández-Crehuet et al, 2001).

La mayoría de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua cursan con diarrea, ocurre una elevada pérdida de líquido y electrolitos, que tiene como consecuencia una deshidratación y, en casos extremos, la muerte.

INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

El control y vigilancia de la calidad del agua de consumo comporta una frecuencia analítica que, en ocasiones, hace poco operativa la determinación simultánea de alto número de parámetros, al tiempo que a menudo la determinación de algunos de ellos entraña especial dificultad. De ahí que se hayan definido una serie de indicadores, sustancias o microorganismos cuya presencia informa acerca de un proceso complejo por el que se ven afectados múltiples parámetros del agua o señalan riesgos sanitarios mediante una fácil determinación (Pérez y Espigares, 1999).

Podemos clasificar los indicadores sanitarios del agua en los siguientes grupos:

- 1) Indicadores de contaminación fecal.
 - Microbiológicos
 - Químicos indirectos
- 2) Indicadores de contaminación química.
- 3) Indicadores de procesos de tratamiento.

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE CONTAMINACIÓN FECAL

Cabría pensar que el control microbiológico de un agua debe ir orientado únicamente a las especies patógenas para el hombre, por lo que la presencia de microorganismos inoocuos para el hombre podría

carecer de significación sanitaria. Sin embargo, existen dos razones que obligan a realizar el control sanitario del agua a través de indicadores microbiológicos (Pérez y Espigares, 1999):

- La investigación de microorganismos patógenos requeriría la utilización simultánea de un gran número de medios de cultivo y de técnicas específicas, que harían imposible determinar en tiempo y forma todos estos posibles microorganismos.
- Dado que la proporción de sujetos enfermos/portadores frente a la población sana es muy pequeña, o lo que es lo mismo, la proporción de microorganismos patógenos frente a los no patógenos, es muy baja, la investigación de estos últimos es más sencilla.

Para poder catalogar a un microorganismo como indicador de contaminación fecal ha de cumplir los siguientes criterios:

- 1. Deberán estar presentes siempre que lo estén los patógenos, y ausentes en aguas no contaminadas.
- 2. Deben encontrarse en número mucho mayor que los patógenos.
- 3. Deben ser incapaces de desarrollarse en el agua y presentar mayor grado de resistencia que los patógenos a las condiciones ambientales y procesos de tratamiento.
- 4. Su aislamiento, recuento e identificación debe ser fácil.

De esta forma, tradicionalmente se han elegido como indicadores microbiológicos microorganismos ampliamente distribuidos en la población, que forman parte de la flora saprofita del intestino, en el que se localizan en abundancia. Son microorganismos que además presentan una alta capacidad de supervivencia en el ambiente acuático y que no sólo se encuentran en el intestino humano, sino que también están presentes en el de animales de sangre caliente (Field y Samadpour, 2007; Arcos Pulido et al, 2005).

Todos estos hechos explican que se hayan elegido como indicadores: bacterias aerobias, coliformes totales, coliformes fecales y enterococos (esteptococos fecales), además de colifagos y clostridios sulfitorreductores que aún presentan mayor supervivencia incluso a procesos convencionales de tratamiento. El recuento de bacterias aerobias a 37 y 22 °C refleja la carga bacteriana del agua y el resto de parámetros permiten obtener información acerca del origen y momento en que se produjo la contaminación fecal (Mukhopadhyay et al, 2012; Stoeckel et al, 2011; Pérez y Espigares, 1999).

Un hecho a tener en cuenta es la posible diferenciación entre una contaminación fecal de origen humano y una de origen animal; así en las heces de animales el contenido en enterococos es mayor que el de coliformes fecales. Se considera que si esta relación, coliformes fecales/enterococos, es superior a 4 la contaminación es de origen humano y si es inferior a 0,7 la contaminación es de origen

animal. Los valores comprendidos entre 0,7 y 4 parecen responder a una contaminación mixta.

INDICADORES QUÍMICOS INDIRECTOS DE CONTAMINACIÓN FECAL

La contaminación fecal del agua incorpora a ésta no sólo microorganismos, sino también materia orgánica, lo que condiciona el empleo de indicadores de tipo químico. Estos indicadores facilitan el control de la contaminación fecal ya que su determinación requiere menor tiempo que el necesario para determinar parámetros microbiológicos.

Tradicionalmente se han utilizado como indicadores: materia orgánica, cloruros, nitratos, nitritos y amoníaco. Los cloruros han perdido su papel como indicador debido a su elevada presencia por sobreexplotación de acuíferos e intrusión marina. Esto mismo sucede en el caso de los nitratos debido a la alta concentración en que se encuentran, sobre todo en aguas subterráneas, por su uso como fertilizantes agrícolas. Los nitratos, nitritos y amoníaco se producen en procesos de desaminación/nitrificación que sufre la materia orgánica, tras la contaminación fecal, como consecuencia de la flora de las heces (Pérez y Espigares, 1999).

Se consideran indicadores químicos indirectos de contaminación fecal reciente: oxidabilidad al permanganato y amoníaco.

INDICADORES DE CONTAMINACIÓN QUÍMICA

Se puede realizar un *control directo* de los riesgos de toxicidad de las aguas, investigando la presencia de múltiples sustancias mediante técnicas muy diferentes, o bien un *control indirecto* usando indicadores. Puede tratarse de parámetros sencillos como es el caso de parámetros físico-químicos tales como pH, conductividad, oxidabilidad, demanda de cloro, ..., cuya variación se produce por incorporación de sustancias que pueden estar relacionadas con un efecto tóxico.

FUENTES NO CONECTADAS A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Los manantiales son aguas subterráneas que debido a la orografía del terreno emergen a la superficie, bien en laderas, bien en llanuras, al encontrar las corrientes de agua capas impermeables en los suelos por los que discurren. Tradicionalmente la población asocia el agua de manantial con buena calidad, confiando que el proceso de depuración natural, al filtrarse por diferentes capas freáticas, elimine las sustancias no deseadas. Esto es debido a la deficiente educación sanitaria de la población, que la hace no rechazar fuentes de agua distintas a las de suministro público, que no disponen de suficientes garantías higiénicas. La percepción pública de que los

manantiales de montaña son impecables y por lo tanto, aptos para el consumo no es siempre correcta, por tanto. Es más, algunos trabajos sobre potabilidad de fuentes de manantial indican que en un 30 % de ellas se detecta contaminación bacteriana de origen fecal (Rodríguez García et al, 2003). Se hace necesario educar al público sobre la calidad de sus fuentes de agua y la importancia de un entorno limpio y sano cerca de ellas (Mukhopadhyay et al, 2012).

Las fuentes constituyen para muchas personas una alternativa a la red pública de abastecimiento ante alteraciones en el suministro, excursiones, paseos o porque tradicionalmente se les asocian unas propiedades específicas. Es por ello necesario potenciar la protección de las aguas subterráneas, atendiendo, entre otros factores, a los fenómenos de karstificación y vulnerabilidad (Goepfert y Goldscheider, 2011; Rodríguez García et al, 2003; Cruces Pont et al, 1987).

En este sentido, el trabajo de Goepfert y Goldscheider, en el que se realizaron análisis de bacterias indicadoras fecales en aguas de manantial, durante las diferentes estaciones, dice demostrar:

- a) La velocidad de flujo en conglomerados de carbonato es similar a la que se da en acuíferos kársticos típicos.
- b) Los contaminantes microbianos son rápidamente transportados hacia los manantiales.
- c) La magnitud y el patrón estacional de las bacterias indicadoras fecales es función del uso del suelo.

Estos autores comprobaron que, frente a la uniformidad de la composición química de las aguas de manantial, los niveles bacterianos (*E. coli*, enterococos fecales) son variables en el tiempo y en el espacio y en general exceden los límites legales. En las zonas kársticas, donde los efectos de la filtración son pobres, los altos niveles de bacterias fecales pueden darse incluso cuando los niveles de nitratos son bajos.

De acuerdo con el artículo 3.2.f. del R.D. 140/2003 quedan excluidas de su ámbito de aplicación “todas aquellas aguas de consumo humano procedentes de un abastecimiento individual y domiciliario o *fuentes naturales* que suministre como media menos de 10 m³ diarios de agua, o que abastezca a menos de 50 personas, *excepto* cuando se perciba un riesgo potencial para la salud de las personas derivado de la calidad del agua, en cuyo caso la Autoridad Sanitaria requerirá a la Administración Local que adopte las medidas necesarias para el cumplimiento de lo dispuesto en este R.D.”

El Programa de vigilancia sanitaria y calidad del agua de consumo de Andalucía, 2013 define *fuentes naturales* como “captación no utilizada con fines comerciales y no conectada a depósito, cisterna o red de distribución”.

Para estos abastecimientos no serán de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en el R. D. 140/2003. No obstante, los municipios deberán:

- ✓ Informar y asesorar a la población abastecida de las medidas que deben de adoptarse para evitar riesgos sanitarios derivados de una posible contaminación del agua.
- ✓ Realizar el control analítico de las fuentes no conectadas de su ámbito municipal.
- ✓ Adoptar las medidas que, en cada caso, señale la Delegación Provincial de la Consejería de Salud correspondiente cuando, debido a las condiciones del abastecimiento o a cualquier otra circunstancia ordinaria o extraordinaria, se sospeche que el agua pueda estar contaminada con riesgo para la salud de los consumidores.
- ✓ Rotular las fuentes naturales como *agua no controlada sanitariamente*, y adoptar las medidas necesarias para que los rótulos se mantengan siempre bien visibles.
- ✓ En las fuentes situadas en zonas donde, en épocas puntuales, se producen aglomeraciones de personas (romerías, ferias, ...) deberá requerirse al Municipio para que, con anterioridad a dicho evento, realice el control analítico de dichas fuentes y las rotule en consecuencia.

En este mismo sentido se expresa el artículo 2.f. del Decreto 70/2009, sobre responsabilidades y competencias del municipio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arcos Pulido MP, Ávila de Navia SL, Estupiñán Torres SM, Gómez Prieto AC. Microbiological indicators of contamination of the water sources. *NOVA publ. Cient.* 2005; 3(4):69-79.
- Blancas Cabello C y Hervás Ramirez ME. Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. Edita: Consejería de Salud de la Junta de Andalucía. Sevilla. 2001.
- Celico F, Varcamonti M, Guida M, Naclerio G. Influence of Precipitation and Soil on Transport of Fecal Enterococci in Fractured Limestone Aquifers. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004; 70 (5):2843-2847.
- Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Red Hidrosur. 2013
- Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA). 2013
- Consejería de Salud de la Junta de Andalucía. Plan Andaluz de Salud Ambiental 2008-2012. Sevilla.
- Consejería de Salud de la Junta de Andalucía. Programa de vigilancia sanitaria y calidad del agua de consumo de Andalucía. 2013.
- Cruces Pont A, Espigares García M, Pérez López JA, Mariscal Larrubia A y Gálvez Vargas R. Control sanitario de las fuentes de los términos municipales de Órgiva y Capileira (Alpujarra-Granada). *Tecnología del Agua.* 1987; 40:36-42.
- Cruz MC, Gutiérrez Cacciabue D, Gil JF, Gamboni O, Vicente MS, Wuertz S et al. The impact of point source pollution on shallow groundwater used for human consumption in a threshold country. *J. Environ. Monit.* 2012; 14:2338- 2349.
- Decreto 70/2009, de 31 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Vigilancia Sanitaria y Calidad del Agua de Consumo Humano de Andalucía. BOJA nº 73, de 17 de abril.
- Espigares García M, Moreno Abril O, Fernández-Crehuet Navajas, M. Aspectos Sanitarios del Agua. In: Piédrola Gil. *Medicina Preventiva y Salud Pública*, 10ª ed. Barcelona: Masson. 2001.
- Fernández-Crehuet Navajas M, Pinedo Sánchez A, Carnero Varo M. Enfermedades de transmisión fecohídrica. In: Piédrola Gil. *Medicina Preventiva y Salud Pública*, 10ª ed. Barcelona: Masson. 2001
- Fernández-Molina MC, Álvarez A, Espigares, M. Presence of hepatitis A virus in water and its relationship with indicators of fecal contamination. *Water Air and Soil Pollution.* 2004; 159:197-208.
- Field KG, Samadpour M. Fecal source tracking, the indicator paradigm, and managing water quality. *Water Research.* 2007; 41:3517 – 3538.
- Goeppert N, Goldscheider N. Transport and variability of Fecal Bacteria in Carbonate Conglomerate Aquifers. *Ground Water.* 2011; 49 (1):77-84.
- Leclerc H, Schwartzbrod L, Dei-Cas E. Microbial Agents Associated with Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Microbiology.* 2002; 28 (4):371-409.
- Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. *B.O.E. nº 189*, de 8 de agosto de 1985. (*Derogada*).
- López Perona R. Infraestructuras del agua en construcción sostenible. Wiki EOI de documentación docente. 2012.
- Maldonado Cantillo G, Romero Placeres M, Cuéllar Luna L, del Puerto Rodríguez A, Sardillas Peña O, Torres Rodríguez M. Nitratos y nitritos en fuentes subterráneas de abasto de agua de Villa Clara (Cuba) 2008-2009. *Hig. Sanid. Ambient.* 2011; 11:684-692.
- Mukhopadhyay C, Vishwanath S, Eshwara VK, Shankaranarayana SA, Sagir A. Microbial quality of well water from rural and urban households in Karnataka, India: A cross-sectional study. *Journal of infection and Public Health.* 2012; 5:257-262.
- Nnane DE. Sustainable microbial water quality monitoring programme design using phage-lysis and multivariate techniques. *Sci. Total Environ.* 2011; 409:5188-5195
- Pérez Aparicio J, Jurado Pérez R, de la Torre Molina R, Hernández Bienes M, Martínez Ruso A, Morales Franco E. Calidad del agua suministrada a las poblaciones del norte de Córdoba. *Ecología y Salud*, marzo 2001.

Pérez López JA, Espigares García M. Estudio sanitario del agua. 2ª ed. Granada: Ed Universidad de Granada. 1999.

Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *B.O.E. n° 45*, de 21 de febrero de 2003.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. BOE n° 176, de 24 de julio. (Texto consolidado - última modificación: 28 de diciembre de 2012).

Rodríguez García R, Martínez Muñoz C, Hernández Vizcaíno D, de Lucas Veguillas J, Acevedo de Pedro, ML. Calidad del agua de fuentes de manantial en la zona básica de salud de Sigüenza. *Rev Esp Salud Pública.* 2003; 77:423-432.

Stoeckel DM, Stelzer EA, Stogner RW, Mau DP. Semi-quantitative evaluation of fecal contamination potential by human and ruminant sources using multiple lines of evidence. *Water Res.* 2011; 45:3225-3244.