

COLABORACIÓN ESPECIAL**ANÁLISIS DE LA DIRECTIVA EUROPEA 98/83/CE: PARADIGMA DE LA JUSTIFICACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE LOS VALORES PARAMÉTRICOS. EL CASO CONCRETO DE LOS PLAGUICIDAS****Marta de la Cruz Vera (1,2), Juan Manuel Palero Sanz (2), Rafael Lucena Rodríguez (1), Soledad Cárdenas Aranzana (1) y Miguel Valcárcel Cases (1).**

(1) Departamento de Química Analítica. Universidad de Córdoba (UCO).

(2) Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA).

Artículo de revisión realizado mediante el Convenio de Colaboración entre la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA) y el Grupo FQM-215 (Dpto. Química Analítica) de la Universidad de Córdoba.

RESUMEN

La protección de la salud a la vez que se garantiza el acceso al agua potable a toda la población es uno de los objetivos principales a nivel mundial. En ese sentido, la Unión Europea, a través de la Directiva 98/83/CE, establece los parámetros y valores paramétricos máximos admisibles para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano. El objetivo de este artículo es dar una visión global de los valores establecidos en la Directiva Europea en comparación con otros países y organizaciones, como la Organización Mundial de la Salud, en base a su justificación toxicológica, haciendo especial mención al caso concreto de los plaguicidas, en los que existe una gran diferencia entre los valores paramétricos fijados. Asimismo, se presenta una comparación con los valores establecidos por la Directiva 91/414/CEE para límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos, destacando la importancia de aunar criterios.

Palabras clave: Agua potable. Parámetros. Valores de referencia. Valores límites del umbral. Plaguicidas. Salud pública. Legislación.

Correspondencia

Marta de la Cruz Vera.
Departamento de Química Analítica.
Edificio Maire Curie (Anexo), Campus de Rabanales.
Universidad de Córdoba
mcruz@aguasdecordoba.es

ABSTRACT**Analysis of the European Directive 98/83/EC: Paradigm of the Justification and Establishment of Parametric Values. The Specific Case of Pesticides**

The health protection while ensuring the access to safe drinking water to the entire population is one of the main objectives all over the world. In this regard, the European Union, through Directive 98/83/EC, sets the parameters and maximum allowable parametric values to ensure the quality of water intended for human consumption. The aim of this paper is to give an overview of the values established in the European Directive in comparison with other countries and organizations, such as the World Health Organization, based on toxicological justification, doing special mention to the case of pesticides, in which there is great difference between the parametric values set. It also presents a comparison with the values fixed by the Directive 91/414/EEC concerning maximum residue limits of pesticides in food, highlighting the importance of joining criteria.

Keywords: Drinking water. Parameters. Reference values. Threshold limit values. Pesticides. Public health. Legislation.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un elemento esencial para la vida, siendo el acceso a la misma uno de los derechos humanos básicos. Este hecho queda plasmado en las políticas de protección de la salud a nivel mundial, en las que este derecho es uno de los principales componentes¹. Así, una de las metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas es reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento².

Esta tendencia a la mejora continua de la protección de la salud da lugar al establecimiento y actualización periódica de las Guías y Normas para la calidad del agua de consumo humano. En ese sentido, el abanico de sustancias abarcadas por dichos documentos, así como la mayor exigencia en los límites de concentración permitidos, va cambiando acorde con el aumento de la información toxicológica disponible y con la mejora de las técnicas analíticas para su detección.

Las Guías para la calidad del agua potable desarrolladas por la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹ proporcionan una base científica de partida que pueden utilizar las autoridades nacionales para el desarrollo de Reglamentos y Normas sobre el agua de consumo. Estas guías se basan en los datos toxicológicos aportados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC o CIIC)⁸. De esta manera cada país, tomando los valores guía de la OMS como referencia, puede establecer los parámetros y valores paramétricos (nivel máximo o mínimo fijado para cada uno de los parámetros a controlar) en función de las características de las aguas destinadas a consumo humano y las sustancias presentes en ellas.

El objetivo del presente trabajo es dar una visión global de los parámetros y valores fijados en la Directiva Europea 98/83/CE³, haciendo especial énfasis en el caso de los plaguicidas, mediante el análisis y comparación con los establecidos en otros países, así como la justificación toxicológica de los mismos. Igual procedimiento se sigue respecto a los valores aceptados en alimentos con objeto de ver las similitudes y diferencias establecidas en contraposición con el agua de consumo.

DIRECTIVA 98/83/CE: PARÁMETROS Y VALORES PARAMÉTRICOS ESTABLECIDOS

La Directiva 98/83/CE surgió en la Unión Europea como respuesta a la necesidad de adaptación al progreso técnico y científico de la Directiva 80/778/CEE relativa a la calidad de aguas de consumo humano, reduciendo a cuarenta y ocho el número de parámetros que los Estados miembros estaban obligados a vigilar, centrándose en el cumplimiento de los parámetros esenciales de calidad y salud³.

En ella se pone de manifiesto la necesidad de fijar valores individuales para los parámetros de sustancias que son significativas en toda la Comunidad, basados en los conocimientos científicos disponibles y en el principio de prevención mediante la evaluación del riesgo para, de esta manera, poder asegurar que el consumo de las aguas por las personas pueda realizarse de manera segura durante toda la vida con un alto nivel de protección de la salud. En ese sentido, los parámetros incluidos en la Directiva poseen un valor paramétrico o una mención acerca de que debe ser “aceptable para los consumidores” y/o “sin cambios anómalos”.

Asimismo, la Directiva establece que los parámetros seleccionados y los valores paramétricos establecidos se basan en general en las recomendaciones sobre calidad

del agua potable de la OMS¹ y en el dictamen del Comité científico consultivo de la Comisión para el estudio de la toxicidad y de la ecotoxicidad de los compuestos químicos. Sin embargo, en ningún momento se hace referencia de manera específica a la justificación de la selección de cada parámetro en base a su toxicidad, a los valores establecidos, ni tampoco se hace alusión de forma concreta a aquellos documentos de los cuales se han tomado dichas referencias. No obstante, Hecq et al., afirman que, además de los parámetros justificados en base a la OMS, para algunos de ellos se utilizó una aproximación distinta, y para otros se consultó al Comité citado anteriormente. Entre estos últimos se encuentran: el plomo, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los plaguicidas, el cobre y el boro⁴.

Este hecho contrasta con la normativa establecida por otros países, como Estados Unidos⁵, Australia⁶, y Canadá⁷, en los que para la mayoría de los parámetros seleccionados se detalla la justificación toxicológica del valor establecido, así como las referencias de partida en el caso de existir. Por ejemplo, la diferencia de valores establecidos entre la OMS¹ y países como Australia⁶ y Canadá⁷ se basa en la distinta consideración del peso medio del individuo, la ingesta de agua diaria y la contribución de ésta a la ingesta de la sustancia química considerada.

En estos países también se especifican los casos en los que la información toxicológica obtenida no es suficiente, o aquellos en los que no es necesario establecer valores paramétricos ya que los niveles encontrados en el agua de consumo son de un orden de magnitud muy inferior a aquellos valores que pueden suponer un riesgo para la salud u ocasionar algún problema estético. A su vez, países como Estados Unidos llevan a cabo la evaluación de toxicidad mediante estudios propios realizados por su Agencia de Protección Ambiental (EPA)⁵.

Por otra parte, la Directiva deja en manos de los Estados miembros el establecimiento de valores para parámetros distintos de los incluidos en ella, o de valores paramétricos más estrictos, en el caso de que sea necesario para proteger la salud humana previa notificación a la Comisión³.

A continuación se van a comparar y analizar los valores paramétricos establecidos en la Directiva con los fijados por otros países a excepción de los plaguicidas, a los que se dedicará un apartado individual. En el anexo 1 se muestran las clasificaciones establecidas por el IARC⁸ y por la EPA⁹, en base al potencial carcinogénico, a las que se hará referencia en los siguientes apartados. En el caso de la EPA actualmente conviven dos clasificaciones debido a la actualización en 2005 de las Guías para la evaluación del riesgo carcinogénico, y a la no finalización de la evaluación de todos los parámetros bajo estas nuevas directrices.

Parámetros microbiológicos

En el caso de los parámetros microbiológicos, la Directiva fija un valor de cero en 100 ml para *E. Coli*, *Enterococos*, *Clostridium prefringens* y bacterias coliformes, mientras que para el recuento de colonias a 22 °C establece el término “sin cambios anómalos” (estando estos tres últimos considerados como parámetros indicadores de la calidad)³. Estos valores paramétricos coinciden con los adoptados en otros países. En el caso de Estados Unidos, además se fija el valor de cero para *Cryptosporidium*, *Giardia Lambia* y *Salmonella*⁵.

Parámetros indicadores

En este grupo se engloban aquellas sustancias cuya presencia, o sus oscilaciones, están relacionadas bien con la eficacia del tratamiento del agua y su control; bien con la percepción del agua a través de los sentidos (olor, color, sabor, gusto, también llamadas características organolépti-

Tabla 1
Parámetros indicadores establecidos por distintos países

Parámetro	unidad	OMS ¹	UE ³	USA ⁵	Australia ⁶	Nueva Zelanda ¹⁰	Canadá ⁷	Argentina ¹¹	Chile ¹²	Colombia ¹³	México ¹⁴	Egipto ¹⁵	Sudán ¹⁵	Sudáfrica ¹⁶
Aluminio	mg/l	-	0,2	0,05-0,2	0,2	0,1	0,1-0,2	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Amonio	mg/l	-	0,5	-	0,5	0,3-1,5	-	0,2	-	-	-	-	1,5	1
Cloruro	mg/l	-	250	250	250	250	≤ 250	350	400	-	250	500	250	200
Color	-	-	accept.	15	15	10	≤ 15	5	20	15	20	30	15	20
Hierro	mg/l	-	0,2	0,3	0,3	0,2	≤ 0,3	0,3	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Manganeso	mg/l	0	0,05	0,05	0,5	0,4	≤ 0,05	0,1	-	0,1	0,15	0,5	0,5	0,1
Olor	-	-	accept.	-	-	3	inodora	inodora	inodora	accept.	agradable	ausente	accept.	5 TON
pH	unidad	-	6,5-9,5	6,5-8,5	6,5-8,5	7,0-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9	6,5-8,5	6,5-9,2	6,5-8,5	5,0-9,5
Sabor	-	-	accept.	-	-	-	-	-	insíp.	accept.	agradable	accept.	accept.	5 FTN
Sodio	mg/l	-	200	-	180	200	≤ 200	-	-	-	200	200	200	200
Sulfato	mg/l	-	250	250	500	250	≤ 500	400	500	250	400	400	250	400
Turbidez	UNT	-	accept.	-	5	2,5	0,3	3	2	2	5	10	5	1

OMS: Organización Mundial de la Salud; UE: Unión Europea; USA: Estados Unidos; UNT: unidades nefelométricas de turbidez; TON: unidades umbral de olor; FTN: unidades umbral de sabor. Accept.: aceptable. Insíp.: insípida.

cas). En la tabla 1 se muestran los valores adoptados por distintos países para algunos parámetros indicadores. Como puede apreciarse, los valores paramétricos establecidos en la Directiva Europea³ son similares a los establecidos en otros países.

Parámetros químicos

Con objeto de hacer una reseña a los valores adoptados por distintos países en comparación con la Directiva Europea, se han seleccionado varios parámetros entre los que se encuentran boro, cadmio, cobre, cromo, plomo, níquel, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y trihalometanos (THMs). En las tablas 2 y 3 se presentan los valores fijados así como el grupo en el que se han clasificado en función de su potencial carcinogénico.

Al igual que para los parámetros indicadores, puede verse que para los parámetros químicos seleccionados, de manera general, los valores límite establecidos por la Directiva Europea se encuentran en el mismo rango que los adoptados por el resto de países. A continuación se va a tratar cada sustancia de manera individual, haciendo referencia a su presencia en el agua, toxicidad y niveles establecidos.

En primer lugar, el boro está presente de manera natural en las aguas subterráneas, pudiendo aumentar su contenido en las aguas superficiales como resultado del vertido de aguas residuales. Su ingesta por vía oral provoca toxicidad para el aparato reproductor masculino. En cuanto a su potencial carcinogénico, no ha sido clasificado por el IARC⁸, y la EPA afirma que la información disponible es inadecuada (I)⁹. El valor paramétrico se

Tabla 2
Valores paramétricos establecidos para algunos parámetros químicos y clasificación en base a su carcinogenicidad

Parámetro (unidad)	Boro (mg/l)	Cadmio (mg/l)	Cobre (mg/l)	Cromo (mg/l)	Níquel (mg/l)	Plomo (mg/l)
OMS ¹	2,4	0,003	2	0,05	0,07	0,01
UE ³	1	0,005	2	0,05	0,02	0,01
USA ⁵	-	0,005	1,3	0,1	-	0,015
Australia ⁶	4	0,002	2	0,05	0,02	0,01
Nueva Zelanda ¹⁰	1,4	0,004	2	0,05	0,02	0,01
Canadá ⁷	5	0,005	1	0,05	-	0,01
Argentina ¹¹	-	0,005	1	0,05	-	0,05
Chile ¹²	-	0,01	2	0,05	-	0,05
Colombia ¹³	1	0,003	1	0,05	0,02	0,01
México ¹⁴	-	-	-	-	-	0,01
Egipto ¹⁵	-	0,005	-	0,05	-	0,05
Sudan ¹⁵	0,2	0,003	1,5	0,04	0,014	0,007
Sudáfrica ¹⁶	-	0,005	1	-	0,15	0,02
GRUPO IARC ⁸	-	I	-	1/3	1/2B	2A/2B/3
GRUPO EPA ⁹	I	D	D	D	--	B2

OMS: Organización Mundial de la Salud; UE: Unión Europea; USA: Estados Unidos; HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos; THMs: trihalometanos

Tabla 3
Valores paramétricos establecidos y clasificación en base a su carcinogenicidad para hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y trihalometanos (THMs)

Parámetro (unidad)	HAPs			THMs				
	Benzo(a)pireno (µg/l)	Fluoranteno (µg/l)	Suma de ¹ (µg/l)	Cloroformo (µg/l)	Bromoformo (µg/l)	Dibromoclorometano (µg/l)	Bromodichlorometano (µg/l)	Suma de ² (µg/l)
OMS ¹	0,7	-	-	300	100	100	60	-
UE ³	0,01	-	0,1	-	-	-	-	100
USA ⁵	0,2	-	-	-	-	-	-	80
Australia ⁶	0,01	-	-	-	-	-	-	250
Nueva Zelanda ¹⁰	0,7	4	-	200	100	150	60	-
Canadá ⁷	0,01	-	-	-	-	-	-	100
Argentina ¹¹	-	-	-	-	-	-	-	100
Chile ¹²	-	-	-	-	-	100	60	-
Colombia ¹³	-	-	10	-	-	-	-	200
México ¹⁴	-	-	-	-	-	-	-	200
Egipto ¹⁵	0,7	-	-	-	-	-	-	100
Sudán ¹⁵	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Sudáfrica ¹⁶	-	-	-	-	-	-	-	200
GRUPO IARC ⁸	1	-	-	2B	3	3	2B	-
GRUPO EPA ⁹	B2	-	-	L/N	L	S	L	-

OMS: Organización Mundial de la Salud; UE: Unión Europea; USA: Estados Unidos; Suma de ¹: benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1,2,3-cd)pireno y benzo(ghi)perileno (los tres primeros clasificados por el IARC y la EPA en los Grupos 2B y B2, y el último en los Grupos 3 y D respectivamente). Suma de²: Cloroformo, bromoformo, dibromoclorometano, bromodichlorometano.

encuentra entre 0,2 mg/l establecido por Sudán¹⁵ y 5 mg/l en Canadá⁷.

El cadmio es liberado al medio ambiente en las aguas residuales, los fertilizantes y la contaminación aérea local. En cuanto a su toxicidad, la exposición prolongada puede causar disfunción renal u osteomalacia⁶. Según la OMS¹ este metal es cancerígeno por inhalación, y recientemente el IARC⁸ lo ha clasificado en el Grupo 1. Sin embargo, la EPA⁹ lo considera como no clasificable en base a la carcinogenicidad en seres humanos. Se observa que el valor paramétrico fijado por los distintos países estudiados oscila entre 0,002 mg/l de Australia⁶ y 0,005 mg/l en Europa³, Estados Unidos⁵ y Egipto¹⁵ entre otros, excepto en el caso de Chile¹² que establece un valor de 0,01 mg/l.

En los casos del cobre y del plomo las principales fuentes de contaminación en el agua proceden de tuberías o grifos de latón, y sustancias químicas de materiales de recubrimiento que pueden incorporarse al agua durante su tratamiento o distribución¹. En lo referido a su toxicidad, la ingesta de cobre puede provocar enfermedades gastrointestinales, llegando a dañar el hígado y el riñón. En cuanto a su potencial carcinogénico en humanos, en la actualidad se considera no clasificable¹. El valor paramétrico oscila entre 1 y 2 mg/l. El plomo se acumula en el esqueleto, afecta al metabolismo del calcio, es tóxico para el sistema nervioso e interacciona con los sistemas enzimáticos responsables de la síntesis del grupo hemo, dando lugar a la aparición de anemia entre otros efectos^{1,16}. En base a su potencial carcinogénico ha sido clasificado en el grupo B2

por la EPA⁹ y 2B por el IARC⁸ de manera global, en el 2A para sus compuestos inorgánicos y en el grupo 3 para los compuestos orgánicos. El valor de referencia oscila entre 0,01 y 0,05 mg/l salvo para el caso de Sudán¹⁵, en el que se establece un valor de 0,007 mg/l.

El cromo está presente en el medio ambiente en los estados trivalente y hexavalente, siendo el primero de ellos un oligoelemento esencial mientras que, el segundo puede estar presente debido a descargas de desechos industriales⁶. La absorción de cromo tras su ingesta es baja, dependiendo del estado de valencia, siendo el hexavalente más rápidamente absorbido^{1,6}. La ingesta del cromo en estado hexavalente puede dañar al hígado y los riñones, e incluso producir encefalitis⁷. En lo referido a su potencial carcinogénico, el IARC⁸ clasifica el cromo hexavalente en el Grupo 1 y el trivalente en el Grupo 3. La EPA⁹ lo considera como cromo total y lo clasifica en el Grupo D. En este caso se puede observar que el valor paramétrico como cromo total oscila entre 0,04 y 0,1 mg/l. A pesar de la demostrada toxicidad para el hexavalente, países como México¹⁴ o Sudáfrica¹⁶ no han establecido ningún valor paramétrico tal y como se indica en la tabla 4.

En cuanto al níquel, la contribución del agua a la ingesta diaria total es poco importante, salvo en los casos en los que exista contaminación¹. Los compuestos de níquel son considerados tóxicos y cancerígenos por inhalación, (Grupo 1 IARC), mientras que el níquel metálico se considera posiblemente cancerígeno (Grupo 2B)⁸. Sin embargo, la OMS¹ afirma que no hay pruebas concluyentes de riesgo de carcinogénesis por vía oral. Como puede apreciarse en la tabla 2, el valor paramétrico oscila entre 0,07 y 0,01 mg/l para aquellos países que tienen fijado un límite, salvo el caso de Sudáfrica¹⁶ que establece un valor de 0,15 mg/l. La Unión Europea³ fija un valor de 0,02 mg/l al igual que Australia⁶, Nueva

Zelanda¹⁰ y Colombia¹³. En este caso la EPA⁹ no ha fijado ningún valor límite, aunque en la actualidad está elaborando un documento específico.

La principal fuente de contaminación del agua potable con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) se debe al recubrimiento de alquitrán que se aplica a las tuberías para protegerlas de la corrosión¹. El valor paramétrico para el benzo(a)pireno se encuentra entre 0,01 y 0,7 µg/l. Sólo en los casos de la Directiva Europea³ y Colombia¹³ se ha establecido un valor para el sumatorio de benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(ghi)perileno e indeno(1,2,3-cd)pireno, siendo el valor fijado por Colombia 100 veces superior al europeo. La OMS¹ ha fijado únicamente un valor paramétrico para el benzo(a)pireno, y para el fluoranteno justifica que se presenta en aguas de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos. Lo mismo ocurre con los casos de Australia⁶ y Canadá⁷. En cambio, para el benzo(a)pireno ambos países toman el valor de referencia de 0,01 µg/l equivalente al límite de determinación. A nivel toxicológico, los HAPs a altas concentraciones pueden producir patologías del hígado y riñón¹. Por otra parte, en lo referente a su poder carcinogénico, la EPA⁹ ha englobado en el Grupo B2 al benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, e indeno(1,2,3-cd)pireno, mientras que el benzo(ghi)perileno se encuentra en el Grupo D. Una clasificación equivalente ha sido establecida por el IARC⁸ agrupándolos en los Grupos 2B y 3, salvo para el benzo(a)pireno que ha sido englobado en el Grupo 1.

Los trihalometanos (THMs: cloroformo, bromoformo, dibromoclorometano y bromodichlorometano) se forman en el agua de consumo debido a la reacción entre la materia orgánica y el cloro utilizado en la desinfección¹. Los valores paramétricos establecidos se encuentran entre 250 y 80 µg/l para la suma total de los cuatro compuestos con-

Tabla 4
Valores paramétricos establecidos y clasificación en base a su carcinogenicidad para plaguicidas

Parámetro	Aldrín/ dieldrin	Diurón	Glifosato	Heptacloro	Heptaclorepó- xido	Simazina	Terbutilazina	Atrazina	Metoxicloro
unidad	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)
OMS ¹	0,03	-	-	-	-	2	7	100	20
UE ³	0,03	0,1	0,1	0,03	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1
USA ⁵	-	-	700	0,4	0,2	4	-	3	40
Australia ⁶	0,01/0,3*	30*	10/1000*	0,05 /0,3*	0,05/0,3*	0,5/20*	-	0,1/40*	0,2/300*
Nueva Zelanda ¹⁰	0,04	-	-	0,04	0,04	2	8	2	20
Canadá ⁷	0,7	150	280	-	-	10	-	5	900
Argentina ¹¹	0,03	-	-	0,1	0,1	-	-	-	-
Chile ¹²	-	-	-	-	-	-	-	-	20
Colombia ¹³	-	-	-	-	-	-	-	-	-
México ¹⁴	0,03	-	-	0,03	0,03	-	-	-	20
Egipto ¹⁵	0,03	-	-	-	-	2	-	2	20
Sudan ¹⁵	0,02	-	-	-	-	1,5	-	1,5	1,5
Sudáfrica ¹⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GRUPO IARC ⁸	3	-	-	2B	-	3	-	3	3
GRUPO EPA ⁹	B2	L	D	B2	B2	N	-	N	D

OMS: Organización Mundial de la Salud; UE: Unión Europea; USA: Estados Unidos; * valor para la salud establecido en Australia.

siderados. Sólo en el caso de la OMS¹, Nueva Zelanda¹⁰ y Chile¹² se fijan valores concretos para cada uno de ellos especificándose, además, que la suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo valor máximo debe ser menor o igual a uno. En lo relativo a su toxicidad, los THMs pueden dar lugar a la aparición de efectos adversos en la reproducción¹. Además, en cuanto a su potencial carcinogénico, el IARC⁸ ha clasificado al cloroformo y al bromodichlorometano como posiblemente cancerígenos para el ser humano (Grupo 2B), y al bromoformo y el dibromoclorometano en el Grupo 3 (no clasificable con respecto a su capacidad cancerígena para los seres humanos). Sin embargo, la EPA⁹

ha considerado como probablemente cancerígenos (L y L/N) a los tres primeros, y para el bromodichlorometano afirma que hay evidencia indicativa del potencial carcinogénico.

PLAGUICIDAS

En el caso concreto de los plaguicidas, la Directiva Europea coincide con otras normativas en las que se especifica que sólo es preciso controlar aquellos plaguicidas que sea probable que estén presentes en un suministro dado³.

En ese sentido, no da un valor específico para cada posible plaguicida presente en el

agua, sino que establece un valor paramétrico para el total de plaguicidas de 0,5 µg/l y para cada plaguicida individual de 0,1 µg/l (salvo en los casos de aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloroepóxido, cuyos valores se han fijado en 0,03 µg/l). Además, tampoco fija un número mínimo/máximo de plaguicidas a tener en cuenta dentro del término “plaguicidas totales”. Sólo se especifica que se entiende por “plaguicidas totales” todos los plaguicidas detectados y cuantificados en el procedimiento de control. Asimismo, se hace mención a que los resultados característicos aplicados a cada uno de los plaguicidas dependerán del plaguicida del que se trate. Por otra parte, tampoco se especifican los métodos de determinación a utilizar, ya que sólo se dice que aunque no sea posible, por el momento, llegar al límite de detección para todos los plaguicidas, los Estados miembros deberían tratar de cumplir esta Norma³.

En cambio, la OMS¹ y países como Australia⁶, Canadá⁷, Nueva Zelanda¹⁰ y Estados Unidos⁵, establecen un valor concreto para cada plaguicida cuya presencia en el agua sea posible, justificándose en base a estudios toxicológicos. Además, en Australia los valores para plaguicidas han sido divididos en dos categorías: valores guía y valores de la salud. Los valores guía son utilizados por las autoridades reguladoras para propósitos de vigilancia y cumplimiento, mientras que los valores de la salud sí coinciden con los valores paramétricos fijados por otros países, y se establecen de igual manera. En la tabla 4, se muestran los valores establecidos en distintos países representativos para los plaguicidas: aldrín, dieldrín, heptacloro, heptacloroepóxido, atrazina, terbutilazina, simazina, diurón, glifosato y metoxicloro.

El aldrín y su metabolito dieldrín son plaguicidas clorados que se utilizan para el control de plagas del suelo, la protección de maderas y, el control de insectos. Ambos afectan al sistema nervioso central y al hígado¹. En lo referente a su potencial carcino-

génico, estudios realizados por el IARC han demostrado que la contribución de estas sustancias a la incidencia de cáncer en el ser humano es muy escasa o nula⁸. Por ello, han sido clasificados en el Grupo 3 del IARC⁸ y B2 de la EPA⁹. El valor paramétrico oscila entre 0,01 y 0,7µg/l. En el caso de Estados Unidos⁵ no se ha establecido ningún valor.

El diurón es un plaguicida de la familia de las ureas sustituidas ampliamente utilizado. En lo referente a su toxicidad en personas, no hay estudios concluyentes. Asimismo, no ha sido clasificado en base a su potencial carcinogénico por el IARC⁸. Sin embargo, y a pesar de no haber establecido ningún valor paramétrico para su determinación en agua potable, la EPA⁹ lo ha clasificado como probablemente carcinogénico para los seres humanos (L). En la tabla 4 se aprecia que el valor límite fijado por la Directiva Europea³ es 300 y 1500 veces inferior a los valores adoptados por Australia⁶ y Canadá⁷ respectivamente.

El glifosato es un herbicida de amplio espectro usado en agricultura y silvicultura, así como para el control de malas hierbas acuáticas. Entre los posibles efectos tóxicos causados por este herbicida, una exposición prolongada puede dar lugar a la aparición de problemas reproductivos y a nivel de riñón⁵. Sin embargo, la OMS¹ considera que las posibles concentraciones existentes en el agua de consumo son mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos. No ha sido clasificado en base a su potencial carcinogénico por el IARC⁸, y la EPA⁹ lo ha englobado en el grupo (D). Por ello, la EPA⁹ ha fijado un valor de 700 µg/l y Canadá⁷ de 280 µg/l. Por último, en el caso de Australia⁶ se ha establecido como valor paramétrico el límite de detección, en este caso 10 µg/l, y como valor para la salud 1000 µg/l. Como puede apreciarse, existe gran diferencia entre estos valores y el exigido por la Directiva Europea.

El heptacloro y su metabolito el heptacloroepóxido son insecticidas de amplio espectro utilizados para proteger construcciones de madera frente a las termitas⁶. Diversos estudios han demostrado su neurotoxicidad en animales y humanos, pudiendo provocar daños en el hígado. Además, su ingesta a altas dosis durante un periodo prolongado puede aumentar la probabilidad de padecer cáncer⁵. Por ello, ambos han sido englobados en los grupos 2B y B2 del IARC⁸ y la EPA⁹ respectivamente. El valor paramétrico varía según el país considerado, siendo el fijado por la Directiva Europea³ del mismo orden de magnitud que el de Australia⁶, Nueva Zelanda¹⁰ y México¹⁴. La OMS, al igual que en el caso del glifosato, no ha establecido un valor de referencia.

Los plaguicidas simazina y atrazina son herbicidas de la familia de las triazinas ampliamente utilizados. Su ingesta puede provocar problemas en el sistema circulatorio y reproductivo⁹. Para ambos la OMS¹ y la EPA⁵ han establecido, en base a diversos estudios, que no son clasificables en base a su poder carcinogénico, siendo clasificados por el IARC⁸ en el Grupo 3. Una vez más, los valores paramétricos fijados por la Directiva Europea³ son inferiores a los adoptados en otros países, concretamente 20 y 1000 veces inferior a los establecidos por la OMS¹, y 200 y 400 veces inferior a los fijados por Australia⁶ para la simazina y atrazina respectivamente.

La terbutilazina, al igual que los dos herbicidas anteriores, pertenece al grupo de las triazinas. Según la OMS, no hay pruebas de sea cancerígena¹. Al igual que en casos anteriores, el valor paramétrico establecido por la Directiva Europea³ es 70 y 80 veces inferior a los fijados por la OMS¹ y Nueva Zelanda¹⁰.

El metoxicloro es un insecticida que se aplica en hortalizas, frutas, árboles, forrajes y animales de granja¹. Entre los efectos tóxicos asociados a este insecticida se encuen-

tran problemas a nivel reproductivo. En lo concerniente a su potencial carcinogénico, tanto la EPA como el IARC lo consideran no clasificable en base a su carcinogenicidad en humanos (Grupos 3 y D respectivamente^{8,9}). En cuanto al valor paramétrico establecido, la diferencia tan amplia entre los valores fijados por la OMS¹ y Canadá⁷ radica en el factor de incertidumbre y el porcentaje de contribución a la ingesta considerado en el cálculo del valor. En este caso, los valores establecidos por Nueva Zelanda¹⁰, Egipto¹⁵ y Chile¹⁴ coinciden con la OMS¹. Por otra parte, Australia⁶ fija un valor para la salud de 300 µg/l mientras que Sudán¹⁵ adopta el valor 1,5 µg/l. Al igual que en casos anteriores, la Unión Europea³ fija un valor paramétrico de 0,1 µg/l, muy inferior a los establecidos por el resto de países estudiados.

Comparación con los valores paramétricos para plaguicidas establecidos en otros alimentos

Los límites para plaguicidas en aguas de consumo humano establecidos en la Directiva Europea³ difieren notablemente con los límites máximos de residuos (LMR), exigidos en alimentos por el Reglamento (CE) núm 396/2005 que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo (versión consolidada el 01/01/2011)¹⁸.

En la tabla 5 se muestran los LMR establecidos para los plaguicidas seleccionados en este artículo en los grupos de alimentos considerados por la Directiva 91/414/CEE. Como puede apreciarse, los LMR varían tanto para cada plaguicida como para cada grupo de alimentos (e incluso se establecen valores concretos para algunos alimentos).

Con objeto de comparar los LMR establecidos en distintos alimentos con los valores paramétricos fijados para el agua de consumo humano, en la tabla 6 se muestra la cantidad máxima admisible para cada plaguicida considerando 1 kg de peso. Si se tiene en

Tabla 5

Límites máximos de residuos de plaguicidas alimentos LMR (mg/kg) establecidos por Reglamento (CE) nº 396/2005 del parlamento europeo y del consejo de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo (versión consolidada el 01/01/2011)¹⁸

Grupos de alimentos	Aldrin/ Dieldrin	Diurón	Glifosato	Heptacloro / Heptacloroeopóxido	Simazina	Terbutilazina	Atrazina	Metoxicloro
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
	0,01	0,05 0,1 0,2 aceitunas	0,1 0,5	0,01	0,1 0,2 uvas de mesa 0,25 cerezas y arándanos	0,1 0,05	0,05	0,02
2. Hortalizas	0,01 0,02 pepinos y sandía 0,03 pepinillos	0,1 0,2 2 espárragos	0,1 0,5	0,01	0,1 0,05	0,05 0,1 patatas y maíz dulce	0,05 0,1 maíz dulce	0,01
3. Leguminosas (secas)	0,01	0,1	0,1 lentejas judías 10 guisantes y altramuces	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
	0,02	0,1 0,2	0,1 cacahuets 10 a 20 semillas de soja y girasol	0,01	0,05 0,1 aceitunas para aceite	0,01	0,05	0,01
5. Cereales	0,01	0,2	0,1 20 avena y cebada	0,01	0,1	0,05 0,1 maíz	0,1	0,01
6. Té, café, infusiones y cacao	0,02	0,1	2	0,02 0,1	0,05	0,05	0,1	0,1
7. Lúpulo (desechado)	0,02	0,5	0,1	0,02	0,1	0,1	0,1	0,05
8. Especies	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05 0,1	0,1	0,1
9. Plantas azucareras	0,01	0,1 0,05	1 remolacha azucarera 0,1	0,01	0,05*	0,05	0,05	0,01
10. Productos de origen animal animales terrestres:	-	-	-	-	0,05	0,05	-	-
- Carnes, grasas, etc	0,2	0,01	0,05 0,52 riñón	0,2	0,05	-	-	0,01
- Huevos	0,02	-	0,05	0,02	0,05	-	-	0,01
- Leche	0,006	-	0,05	0,04	0,05	-	-	0,01

Para el caso de fijar un valor correspondiente a un único alimento se ha especificado el mismo.

Tabla 6

Cantidad máxima de plaguicida permitido en distintos alimentos para un peso de 1 kg, teniendo en cuenta los límites máximos de residuos establecidos por Reglamento (CE) n° 396/2005 del parlamento europeo y del consejo de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo (versión consolidada el 01/01/2011)¹⁸

Alimentos		Naranja	Patata	Guisantes secos	Semillas de girasol	Remolacha azucarera	Carne de porcino	Huevo	Leche
Aldrin/ Dieldrin	(µg/kg)	10	10	10	10	10	200	20	6
Diurón	(µg/kg)	100	100	100	100	100	10	-	-
Glifosato	(µg/kg)	500	500	10000	20000	1000	50	50	50
Heptacloro /Heptacloroepóxido	(µg/kg)	10	10	10	10	10	200	20	40
Simazina	(µg/kg)	100	50	50	50	50	50	50	50
Terbutilazina	(µg/kg)	100	100	10	10	50	50	50	-
Atrazina	(µg/kg)	100	50	50	50	50	-	-	-
Metoxicloro	(µg/kg)	20	10	10	10	10	10	10	10

cuenta una ingesta de 1 litro de agua y un valor paramétrico para cada plaguicida de 0,1 µg/l, la cantidad máxima permitida en 1 litro de agua será de 0,1 µg para cada plaguicida individual. Si comparamos este valor con los establecidos en la tabla 6 se observa que para 1 kg de cualquiera de los alimentos considerados se sobrepasa notablemente este valor. Así, en 1kg de naranjas en el que se llegue al LMR habrá 100 veces más aldrín, dieldrin, heptacloro o heptacloroepóxido, 1000 veces más de diurón, simazina, terbutilazina o atrazina, 5000 veces más de glifosato y 200 veces más de metoxicloro. De igual manera, si comparamos los valores máximos permitidos para 1 litro de leche en comparación con 1 litro de agua se puede ver que la concentración de aldrín y dieldrin es 60 veces superior, 500 veces mayor para el glifosato y la simazina, 400 veces superior para el heptacloro y heptacloroepóxido y 100 veces para el metoxicloro.

Por último, una ingesta de 2 litros de agua corresponderá, teniendo en cuenta la concentración máxima permitida, a una ingesta de plaguicidas de 73 µg al año y 7300 µg en

toda una vida (100 años). Esto equivale, considerando el LMR para el glifosato, al consumo de 73 naranjas (200 g/ unidad) o a la ingesta de medio litro de leche durante aproximadamente un año (343 días).

CONCLUSIONES

Como puede apreciarse a raíz de los datos presentados y analizados en este artículo, los valores paramétricos establecidos en la Directiva Europea en comparación con los fijados por otros países se encuentran en el mismo rango de valores para los parámetros indicadores y microbiológicos, y para la mayoría de los parámetros químicos. En cambio, se observa una gran diferencia en el caso de aquellos plaguicidas para los que no existen valores específicos individuales, fijándose un valor de 0,1 µg/l como valor individual general (salvo para aldrín, dieldrin, heptacloro y heptacloroepóxido para los que existen valores específicos) y 0,5 µg/l como valor total del sumatorio de los mismos, sin hacer referencia a la justificación científica y toxicológica de la selección de dichos valores.

Evidentemente, el objetivo principal del establecimiento de estas Directrices y Normas es sin lugar a dudas la protección de la salud, estando unificados los esfuerzos tanto a nivel legislativo como a nivel de la gestión y suministro del agua de consumo humano en esa única dirección. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta la necesidad de la existencia de una coherencia entre los valores establecidos para cada parámetro y la toxicidad del mismo.

Asimismo, se ha mostrado una comparativa con los límites máximos de residuos permitidos en alimentos para los plaguicidas seleccionados. En este caso, el establecimiento de estos límites ha sido fijado en base, en primer lugar, a la protección de la salud pública y, en segundo lugar, en el nivel más bajo que pueda alcanzarse según las buenas prácticas agrícolas¹⁸. Por otra parte, en lo referente al agua potable, los criterios establecidos se basan igualmente en la protección de la salud pública, junto con el cumplimiento de una serie de normas de calidad³. Por todo ello, sería deseable la unificación de criterios en aquellos casos en los que fuese posible, en base a los estudios toxicológicos existentes.

Finalmente, y aunque está fuera del alcance de este artículo, también es importante tener en cuenta que el establecimiento de un valor paramétrico concreto influye de manera directa en las metodologías empleadas y operaciones realizadas en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs). En ese sentido, puede implicar el cambio o introducción de metodologías más costosas y complejas, e incluso puede crear una problemática a nivel técnico que no existía inicialmente. Por otra parte, a nivel de control analítico puede dar lugar al empleo de metodologías más complejas y/o costosas para poder cumplir con los requerimientos exigidos en la determinación.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Convenio de Colaboración entre la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA) y el Grupo FQM-215 (Dpto. Química Analítica) de la Universidad de Córdoba, que ha posibilitado la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. Guidelines for drinking-water quality. 4º ed. Ginebra: Organización Mundial de la Salud: WHO Library cataloguing-in-publication data; 2011.
2. Organización Mundial de la Salud (OMS). Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización. Ginebra: Organización Mundial de la Salud y UNICEF; 2010.
3. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva Europea 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. L 330/32 de 5/12/1998.
4. Quevauviller P, Thompson KC. Analytical methods for drinking water: advances in sampling and analysis .Chapter 1: Drinking water regulations. Water quality measurements series. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd; 2005.
5. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Disponible en: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>.
6. Australian government. National Water Quality Management Strategy. Australian drinking water guidelines 6. Melbourne: Biotext Pty Ltd; 2004.
7. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Health Canada; 2010. Disponible en www.hc-sc.gc.ca
8. IARC. Monographs Database on Carcinogenic Risks to Human Volumes 1–102. Disponible en: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>.
9. Office of water U.S. Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories; Washington; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA); 2011. Disponible en:

http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/drinking_index.cfm

10. Ministry of Health. Draft Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand. 2° ed. Wellington: Ministry of Health; 2005.

11. Administración Nacional de medicamentos, alimentos y tecnología médica. Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación. Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Agua potable. Artículo 982 - (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007); 2007. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp

12. División de Normas del Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena Oficial. Agua potable. NCh409/1.Of2005; 2005. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-agua/>

13. Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Resoluciones. DIARIO OFICIAL 46679. RESOLUCION NUMERO 2115 DE 2007 (junio 22) por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano; 2007. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-agua/>

14. Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA-1998, Vigilancia y evaluación del control y calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público; 1998. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-agua/>

15. Regional Office for the Eastern Mediterranean Regional Centre for Environmental Health Activities (CEHA). A compendium of drinking-water quality standards in the Eastern Mediterranean Region (WHO-EMI/CEH/143/E); El Cairo: Organización Mundial de la Salud; 2006.

16. Water service regulations. Department of water affairs and forestry. Republic of South Africa. Drinking water quality management guide for water services authorities; Pretoria: Department of health; 2005.

17. Casarett y Doull. Fundamentos de toxicología. Madrid:Mc-Graw Hill Interamericana de España; 2005.

18. Reglamento (CE) n° 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de febrero de 2005 relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo (versión consolidada el 01/01/2011).L070 de 16/03/2005.

Anexo 1

Clasificaciones establecidas por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC)⁸ y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)⁹ para la clasificación en base a la carcinogenicidad del parámetro evaluado

IARC
<p>GRUPO 1: Cancerígeno en humanos GRUPO 2A: Probablemente cancerígeno en humanos GRUPO 2B: Posiblemente cancerígeno en humanos GRUPO 3: No clasificable en base a su carcinogenicidad en humanos GRUPO 4: Probablemente no cancerígeno en humanos</p>
EPA
<p>1) GRUPOS: A: Cancerígeno en humanos B: Probablemente cancerígeno en humanos B1: Evidencia limitada en humanos B2: Evidencia suficiente en animales e inadecuada o no evidencia en humanos C: Posible cancerígeno en humanos D: No clasificable en base a su carcinogenicidad en humanos E: Evidencia de no carcinogenicidad en humanos</p>
<p>2) Clasificación (a partir de 2005): H: Carcinógeno humano L: Probablemente cancerígeno en humanos L/N: Probablemente cancerígeno por encima de una dosis específica, pero no por debajo de esa dosis, ya que un evento clave en la formación de tumores no ocurre por debajo de esa dosis S: Evidencia indicativa del potencial carcinogénico I: Información inadecuada para evaluar el potencial carcinogénico N: No es probable que sea un cancerígeno para los seres humanos</p>