



CIRCULAR DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y ECONOMÍA CIRCULAR SOBRE LA CONSTANTE TOXICOLÓGICA RfC A UTILIZAR EN LA FRACCIÓN DE TPH AROMÁTICA PESADA

ÍNDICE

1. OBJETO.....	2
2. EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA Rfc del benz0(a)pireno.....	2
3. CONCLUSIONES.....	2

**ANEXO I INFORME DE VALORACIÓN DE LAS CONSULTAS RECIBIDAS EN RELACIÓN A LA
CONSTANTE TOXICOLÓGICA RfC PARA LA FRACCIÓN DE TPH AROMÁTICA PESADA (EPA
PPRTV 2022)**



1. OBJETO

El objeto de la presente circular es evaluar y dar respuesta a las consultas recibidas a resultados de la reciente actualización por parte de la US EPA PPRTV (2022) de la constante toxicológica no cancerígena por inhalación (RfC) para las fracciones C16-C21 y C21-C35, utilizando el RfC del benzo(a)pireno como parámetro indicador para el grupo (valor de toxicidad más conservador de los conocidos para la fracción). Esta constante sería la que se aplicaría siguiendo las recomendaciones del documento reconocido DRCS-03, si bien es cierto que tras evaluar su aplicación se revela como una constante muy restrictiva y no representativa para estimar los riesgos por inhalación de vapores del conjunto de la fracción aromática pesada.

2. EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA RFC DEL BENZO(A)PIRENO

Con objeto de evaluar la utilización de dicha constante se ha encargado a la Agencia de Medio Ambiente y Agua un informe sobre su aplicación, el cual se adjunta en el Anexo I.

3. CONCLUSIONES

Sobre las consideraciones y propuestas contenidas en el mencionado informe se recomienda lo siguiente:

1. Aplicar la RfC del naftaleno a la fracción aromática >EC10-EC21, tanto para la inhalación de volátiles como de partículas.
2. El valor RfC del benzo(a)pireno se aplicaría a la fracción aromática >EC21-EC35, la cual se considera no volátil, pero que sí intervendría en la vía de inhalación de partículas.



ANEXO I

INFORME DE VALORACIÓN DE LAS CONSULTAS RECIBIDAS EN RELACIÓN A LA CONSTANTE TOXICOLÓGICA RfC PARA LA FRACCIÓN DE TPH AROMÁTICA PESADA (EPA PPRTV 2022)

VALORACIÓN DE LAS CONSULTAS RECIBIDAS EN RELACIÓN A LA CONSTANTE TOXICOLÓGICA RfC PARA LA FRACCIÓN DE TPH AROMÁTICA PESADA (EPA PPRTV 2022)

Código de informe: Rfc_ AROM_ PESADAS_ Rev1

VALORACIÓN CONSULTAS RfC fracción TPH aromática pesada EPA PPRTV 2022
Rfc_ AROM_ PESADAS_ Rev1
Ref: AJO

Página 1 de 31

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 1/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Índice

1. Objeto.....	3
2. Contenido de las consultas/propuestas.....	3
3. Valoración técnica de las consultas/propuestas.....	4
3.1. Consideraciones sobre la naturaleza de screening de la RfC de US EPA PPRTV para fracciones aromáticas pesadas.....	4
3.2. Consideraciones sobre la naturaleza particulada del benzo(a)pireno empleado en la obtención de la RfC de US EPA PPRTV.....	6
3.3. Consideraciones sobre la representatividad del benzo(a)pireno como parámetro indicador para la toxicidad de la fracción aromática pesada.....	8
3.4. Consideraciones sobre el conservadurismo de la constante RfC.....	11
3.5. Consideraciones sobre la volatilidad de la fracción aromática pesada. Criterio seguido por US EPA.....	15
3.6. Valoración de las alternativas propuestas.....	18
3.7. Conclusiones y propuestas.....	20
4. Referencias.....	25

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 2/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



1. Objeto

El objeto del presente informe es evaluar y dar respuesta a las consultas recibidas desde varias ECCA, en lo referente a la toxicidad a aplicar a las fracciones aromáticas pesadas de TPH.

Este informe, que no tiene carácter vinculante, se realiza a petición del Servicio de Residuos y Calidad del Suelo y se refiere exclusivamente a la documentación disponible. Cualquier modificación de la misma, cambios, nuevos documentos o información, podrían alterar las conclusiones que se derivan de este informe.

2. Contenido de las consultas/propuestas

Las consultas recibidas indican, a modo de resumen, que la constante toxicológica no cancerígena por inhalación (RfC) para las fracciones C16-C21 y C21-C35 de la reciente actualización de la US EPA PPRTV (2022), que sería la constante a aplicar de forma preferente según el documento reconocido DRCS-03, es excesivamente restrictiva ($2\text{E-}06 \text{ mg/m}^3$), sería un valor de screening y sería de difícil comprobación experimental debido a los límites de cuantificación actualmente existentes en el análisis de muestras de vapores, analítica que además no suele incluir fracciones mayores a C16.

Se indica también que esta constante, adoptada del compuesto benzo(a)pireno como parámetro indicador para el grupo (valor de toxicidad más conservador de los conocidos para la fracción), se corresponde con una exposición a aerosoles de humo, por lo que sería representativo para una exposición por inhalación de partículas en exteriores, pero no para la inhalación de vapores en interiores.

El benzo(a)pireno además suele estar ausente o presente en concentraciones traza en el suelo, a diferencia de otros compuestos que sí son detectados con mayor facilidad, incluyendo la fase vapor, como es el caso del naftaleno.

En alguna de las consultas se proponen por ello dos opciones a la consideración de la Junta de Andalucía:

- A) Analizar individualmente los PAH junto con la toxicidad conocida para cada uno de ellos, y para el resto de la fracción emplear los valores de toxicidad del TPHCWG. En ausencia de valores TPHCWG se emplearían los valores adoptados con anterioridad por EPA PPRTV en 2009.

No se especifica en la consulta, pero los valores a adoptar según esta propuesta para las fracciones aromáticas de TPH podrían ser en principio los siguientes:

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 3/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Tabla 1. Valores alternativos previsibles de RfC derivados de la propuesta

Fracción de TPH	Valor RfC sugerido (mg/m ³)	Fuente	Observaciones
Aromáticos EC11-EC12	0,2	TPHCWG 1997	La consulta no parece incluir esta fracción como pesada
Aromáticos EC12 - EC16	0,2	TPHCWG 1997	La consulta no parece incluir esta fracción como pesada
Aromáticos EC16-EC21	0,1 / 0,003 ⁽¹⁾	EPA PPRTV 2009	Considerada como fracción aromática media en EPA PPRTV 2009
Aromáticos EC21-EC35	-	Sin valor en TPHCWG 1997 ó EPA PPRTV 2009	

(1) Valor de 0,1 mg/m³ si se analizaban y evaluaban por separado naftaleno y trimetilbencenos. En su defecto el documento reconocido DRCS-03 recomendaba la RfC del naftaleno (3E-3 mg/m³), la más conservadora, para la fracción aromática media.

- B) Usar un valor derivado del valor de referencia oral de EPA PPRTV 2022, dado que la RfC de EPA PPRTV 2022 solo sería válida en caso de presencia de partículas y aerosoles.

Tampoco se concreta en la propuesta, pero se debe hacer referencia a la extrapolación de una constante inhalatoria (RfC) alternativa, a partir de la dosis de referencia oral (RfDo) de 3E-04 mg/Kg*día de EPA PPRTV 2022, multiplicándola por 70 Kg de peso corporal y dividiéndola por 20 m³/día de tasa de inhalación. Se obtendría de esta forma un valor de RfC extrapolado de 1,05E-03 mg/m³.

3. Valoración técnica de las consultas/propuestas

3.1.Consideraciones sobre la naturaleza de screening de la RfC de US EPA PPRTV para fracciones aromáticas pesadas.

Cabe indicar que la RfC de benzo(a)pireno de EPA PPRTV 2022 no es un valor de screening. En el texto del informe toxicológico de EPA IRIS para la fracción aromática pesada se especifica que no es de screening, y tampoco aparece en cursiva en las tablas como sí ocurre con otras constantes que sí son consideradas

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 4/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2jmMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



como de screening. EPA adopta este valor también como RfC para el benzo(e)pireno, considerándose afirmativamente en este caso como un valor de screening por la extrapolación realizada, pero no posee el carácter de screening cuando es aplicado al benzo(a)pireno.

Figura 1. Naturaleza de la RfC de benzo(a)pireno

6.2.1. Inhalation Noncancer Assessment the Indicator Chemical Method for the Aromatic High Carbon Range Fraction

The lowest RfC among the compounds in this fraction that is not a screening value is the chronic RfC for BaP (see Table 8); this value is recommended for chronic exposures to the aromatic high carbon range fraction if available analytical chemistry data do not identify

Fuente: Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons US EPA 2022

Table 15. Available RfC Values for Aromatic High Carbon Range Fraction (C10–C32 [EC11–EC35]) ^a									
Indicator Chemical or Components	POD (mg/m ³)	POD Type (all are HECs)	UF _C	UF Components	p-RfC or RfC (mg/m ³)	Confidence in p-RfC or RfC	Critical Effect(s)	Species, Frequency, and Duration	Reference
Chronic									
Naphthalene (C10 [EC11.57])	9.3	LOAEL	3,000	UF _A , UF _D , UF _H , UF _L	0.003	Medium	Nasal effects: hyperplasia and metaplasia in respiratory and olfactory epithelium, respectively (nervous, respiratory)	Mouse, 6 h/d, 5 d/wk for 2 yr	NTP (1992) as cited in U.S. EPA (1998)
1,1-Biphenyl (C12 [EC13.45])	1.23	BMCL ₁₀	3,000	UF _A , UF _D , UF _H , UF _S	0.0004 ^c	Low	Congestion and edema of liver and kidneys (hepatic, urinary)	Mouse, 6 h/d, 7 d/wk for 13 wk	Cannon Laboratories Inc. (1977) as cited in U.S. EPA (2011a)
Benzo[<i>a</i>]pyrene (C20 [EC29.95])	0.0046	LOAEL	3,000	UF _A , UF _D , UF _H , UF _L	0.000002	Low-medium	Decreased embryo/fetal survival (developmental)	Rat, 4 h/d on GDs 11–20	Archibong et al. (2002) as cited in U.S. EPA (2017)
Benzo[<i>e</i>]pyrene (C20 [EC27.80])	0.0046	LOAEL	3,000	UF _A , UF _H , UF _D , UF _L	0.000002 ^c	NA	Based on benzo[<i>a</i>]pyrene as an analogue; decreased embryo/fetal survival (developmental)	Rat, 4 h/d on GDs 11–20	Archibong et al. (2002) as cited in U.S. EPA (2021b)

^aBolded row shows the compound and toxicity value selected as the indicator chemical for the fraction if analytical chemistry data do not identify concentrations of individual chemicals composing this fraction.

^bU.S. EPA derived the HEC in a PPRTV assessment based on consideration of the critical effect as extrarrespiratory (using the RGDR for the extrarrespiratory region).

^cToxicity values are provisional values obtained from an existing PPRTV assessment. **Values in *italics* are screening provisional values** obtained from an existing PPRTV assessment. Screening provisional values are not assigned confidence statements; however, confidence in these values is presumed to be low. Screening provisional values are derived when the available data do not meet the requirements for deriving a provisional toxicity value.

^dBecause the chronic RfC for benzo[*a*]pyrene is based on a developmental exposure, it is also applicable to subchronic exposures and is listed here.

^eU.S. EPA derived the HEC in an IRIS assessment based on consideration of the critical effect as extrarrespiratory (using the RGDR for the extrarrespiratory region).

BMCL₁₀ = 10% benchmark concentration lower confidence limit; C = carbon; EC = equivalent carbon; GD = gestation day; HEC = human equivalent concentration; IRIS = Integrated Risk Information System; LOAEL = lowest-observed-adverse-effect level; NA = not applicable; POD = point of departure; PPRTV = Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value; p-RfC = provisional reference concentration; RfC = reference concentration; RGDR = regional gas dose ratio; UF = uncertainty factor; UF_A = interspecies uncertainty factor; UF_C = composite uncertainty factor; UF_D = database uncertainty factor; UF_H = intraspecies uncertainty factor; UF_L = LOAEL-to-NOAEL uncertainty factor; UF_S = subchronic-to-chronic uncertainty factor.

Fuente: Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons US EPA 2022

La adopción de la RfC de benzo(a)pireno como valor indicador para la fracción aromática pesada tampoco puede considerarse como de screening, y responde a la práctica habitual de EPA de adoptar para la fracción, en ausencia de otros valores para mezclas de sustancias de esa fracción, el valor de toxicidad más

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 5/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



conservador de entre los disponibles, lo cual no quita que ello conlleve una incertidumbre inherente como ocurre con otras fracciones en que se lleva a cabo esta aproximación.

El valor de RfC de Benzo(a)pireno se ha obtenido a partir de un valor LOAEL (aportando por este concepto al cálculo de la constante un factor de seguridad o incertidumbre elevado, igual a 10), aunque en relación a un estudio sobre los efectos en el desarrollo (tipo de estudio mejor valorado que no aporta incertidumbre por este concepto), y teniendo en cuenta factores interespecie (factor de 3), intraespecie (10) y por deficiencias de la base de datos (10), que determinan un factor de incertidumbre final de 3000, considerándose que el valor derivado posee un grado de confianza bajo-medio, teniendo en cuenta no obstante que se trata de un valor IRIS, considerada la base de datos de mayor grado de fiabilidad y revisión científica externa de entre las existentes.

3.2.Consideraciones sobre la naturaleza particulada del benzo(a)pireno empleado en la obtención de la RfC de US EPA PPRTV

Se ha revisado el informe toxicológico de EPA PPRTV del benzo(a)pireno (2017), así como los estudios científicos citados en él que dan origen a la RfC adoptada, e igualmente los informes toxicológicos de EPA PPRTV tanto para las mezclas de TPH (2022) como específicamente para la fracción aromática pesada (2022), así como los estudios científicos citados en los mismos, en base a los cuales se adopta el valor de la RfC del benzo(a)pireno como valor indicador para la fracción aromática pesada.

En estos informes toxicológicos de EPA PPRTV se citan como referencia para la adopción de la RfC los siguientes estudios:

- Benzo(a)pireno: 3 estudios del mismo autor (Archibong 2002, 2008 y 2012), específicos para la vía sistémica de inhalación.
- Mezclas de PAH:
 - 1 estudio sobre la carcinogenicidad por vía oral (Weyand 2004)
 - 3 estudios sobre toxicidad sistémica por vía oral (Crepeaux 2012, 2013 y 2014)
 - 1 estudio sobre cultivos de células neuronales (Slotkin 2017)
 - 2 estudios específicos por vía sistémica de inhalación (Chu 2013 y Yan 2014)

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 6/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Los estudios de inhalación de benzo(a)pireno hacen uso de aerosoles de ese compuesto, empleando como soporte físico, de carácter inerte, negro de humo (carbon black). Los estudios de inhalación disponibles para mezclas de PAHs, emplean igualmente aerosoles formados en esta ocasión a partir de una solución líquida y aire comprimido.

Se demuestra que el negro de humo no interfiere en los resultados del ensayo, llevándose a cabo grupos de control o blancos con este compuesto sin PAH adicionados, que no muestran toxicidad. En similar sentido se realizan grupos de control en los otros estudios con nebulizaciones exentas de PAHs.

Figura 2. Naturaleza de los aerosoles empleados en los estudios toxicológicos por inhalación de benzo(a)pireno y mezclas de PAHs citados en US EPA PPRTV

groups and two control groups. Treatment consisted of sub-acute exposure of rats to BaP 25, 75, and 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ via nose-only inhalation, 4 h daily for 10 days (GD-11-20) using a state-of-the-art dual-component aerosol generator developed in our laboratory. Details on the design, fabrication, installation, and characterization of the exposure system are reported in Hood et al. [4], and Ramesh et al. [7]. The term exposure concentration is used instead of 'dose' throughout this manuscript. For inhalation studies, administered dose is usually expressed in terms of the atmospheric concentration to which animals are exposed, often expressed as mg/m^3 on a weight/volume basis [24]. Control animals were either sham exposed to carbon black (CB), to control for the inert carrier of BaP, or served as unexposed control (UNC). Blood

2.2. PAH Exposure. The PAH mixture was produced by the Lovelace Respiratory Research Institute to replicate the proportional distribution of individual PAH that was measured among a cohort of pregnant women participating at the CCCEH birth cohort [8, 17] as shown in Table 1. The negative control aerosol solution consisted of 99.97% purified water, 0.02% Tween 80, and 0.01% Antifoam A (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). 100 μL of PAH solution was added to yield the final concentration of 7.29 ng/m^3 . The aerosols were tested for bacterial growth annually using aerobic and anaerobic cultures (Charles River, MA). Fresh solutions were prepared weekly.

Mice were exposed prenatally or postnatally to PAH versus negative control aerosol, as summarized in Figure 1. The 15 mL solutions were delivered via nebulizers (Unomedical

PAH Exposure

The PAH mixture was produced by the Lovelace Respiratory Research Institute to replicate the proportions of individual PAH that was measured among a cohort of over 700 pregnant women participating at the CCCEH birth cohort using personal air sampling devices [44,45], as described in our previous publication [43]. The negative control aerosol solution consisted of 99.97% purified water, 0.02% Tween 80 and 0.01% antifoam (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). The mixed PAH solution was added to yield the final concentration of 7.29 ng/m^3 (3.69 ng/m^3 pyrene, plus 3.60 ng/m^3 from 8 other individual PAH). The 15 mL solutions were delivered via nebulizers (Unomedical Inc., McAllen, Texas) connected to filtered compressed air, as described [43].

Archibong (2002)

Chu (2013)

Yan (2014)

Fuente: ver apartado Referencias

Es cierto por tanto que todos los estudios por inhalación disponibles se llevan a cabo mediante aerosoles, aunque solo en el caso del benzo(a)pireno con material particulado (negro de humo).

En ambos casos, el soporte del aerosol, sólido o líquido, no interfiere en la toxicidad medida, por lo que a priori no debería ir asociada necesariamente a exposiciones por inhalación de partículas o de aerosoles, sino que dicha toxicidad la provoca el contaminante en sí en las concentraciones en aire ensayadas, con independencia del soporte físico que se haya empleado para conseguirlas. Así, el informe toxicológico de EPA para las mezclas de TPH, cuando se refiere a la opción de analizar la concentración de ciertos compuestos de la fracción a nivel individual, habla genéricamente de concentraciones en aire, no de concentraciones asociadas a partículas o a aerosoles del aire.

Figura 3. Uso de valores RfC de la fracción para la evaluación de riesgos por concentraciones en aire (US EPA PPRTV)

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 7/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



If the available analytical chemistry data quantify the concentrations of 1,1-biphenyl, naphthalene, BeP or BaP in the air separately from the remainder of the aromatic high carbon range fraction, it is recommended that HQs for the individual chemicals with analytical data be calculated and an HI for the mixture be developed using the calculated HQs.

Fuente: *Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons* US EPA 2022

Sí cabe indicar que el motivo de llevar a cabo los estudios con aerosoles y no con gas, se debe seguramente a la reducida volatilidad del benzo(a)pireno y de la mezcla de PAH empleada, y la dificultad que ello puede conllevar para conseguir en condiciones ambientales estándar una mezcla homogénea de vapores de la concentración deseada, lo que guarda relación con las valoraciones que se ofrecen más adelante en este documento sobre la volatilidad de la fracción aromática pesada.

3.3. Consideraciones sobre la representatividad del benzo(a)pireno como parámetro indicador para la toxicidad de la fracción aromática pesada

Si bien es cierto que en el contexto de la contaminación por una estación de servicio la presencia de naftaleno es normalmente significativamente más importante que la de benzo(a)pireno, se debe tener en cuenta sin embargo que la fracción EC11-EC35 está compuesta por otros hidrocarburos más pesados, no solo por benzo(a)pireno y el grupo de los 16 PAHs más conocidos, sino por compuestos procedentes de la sustitución en los PAHs de determinados radicales por otro tipo de compuestos, entre ellos los derivados del naftaleno (metilnaftalenos) y otros más pesados, cuya concentración en la mezcla de TPH se desconoce normalmente pues no se suelen analizar individualmente, pero que de forma conjunta pueden ser significativamente más frecuentes que el aporte del naftaleno por sí solo dentro de la mezcla, como puede apreciarse de las concentraciones medias indicadas por la publicación del TPHCWG que se adjunta como anexo.

Figura 4. Composición de la fracción aromática pesada EC11-EC35

3.6. AROMATIC HIGH CARBON RANGE FRACTION: C10–C32 (EC11–EC35)

The aromatic high carbon range fraction contains PAHs (e.g., naphthalene, anthracene, BaP, BeP, dibenzo[*def,p*]chrysene) and benzenes with larger aliphatic substituents (e.g., *n*-hexylbenzene, phenylcyclohexane). This fraction is further subdivided for the purposes of this document. Unsubstituted PAHs consist of aromatic hydrocarbons comprised of two to six fused aromatic hydrocarbon rings and exclude all compounds with alkyl or other substituents on the ring as well as compounds with anything other than carbon and hydrogen in their composition (i.e., exclude heterocyclic compounds). Substituted PAHs (subPAHs) include alkyl-substituted PAH derivatives such as 1,4-dimethylphenanthrene, 1-methylnaphthalene, and 5-methylchrysene. Carcinogenic fraction members that cannot be classified as either PAH or subPAH include all other aromatic hydrocarbons within the C10–C32 and EC11–EC35 ranges that occur in petroleum contamination, such as 1,1-biphenyl. Noncancer toxicity assessment and surrogate selection for the aromatic high carbon range fraction is detailed in the PPRTV assessment for this fraction ([U.S. EPA, 2022c](#)). This section provides a summary of the approach and results; further detail is available in the PPRTV assessment.

VALO
Rfc_
Ref: AJU

31

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 8/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Fuente: Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons US EPA 2022

En los informes toxicológicos de EPA PPRTV se indica que se adopta el valor de toxicidad del benzo(a)pireno como indicador para el grupo, no solo por seguir el criterio de emplear el valor más conservador del grupo, sino por la existencia de estudios científicos (los citados en el apartado anterior) con mezclas de varios compuestos de PAH, donde se concluye que la toxicidad encontrada es de similar orden de magnitud e incluso superior en algunos casos a la establecida para el benzo(a)pireno de forma aislada, debiendo existir por tanto interacciones o sinergias entre estos compuestos, que hacen que la toxicidad del grupo sea más elevada que la considerada a nivel individual para algunos de los miembros de la fracción, la cual puede ser más de 2 órdenes de magnitud inferiores.

Figura 5. Representatividad de la RfC de benzo(a)pireno para la fracción aromática pesada (Informe US EPA PPRTV 2022 para mezclas de TPH)

The lowest RfC among the compounds in this fraction is the chronic RfC for BaP (see Table 15)⁷; this value is recommended as the indicator chemical for chronic exposures to the aromatic high carbon range fraction if available analytical chemistry data do not identify concentrations of individual chemicals composing this fraction. Although a subchronic toxicity value is not available for BaP (the IRIS program did not develop subchronic values), the chronic RfC is based on a developmental exposure, so the RfC value is applicable to subchronic exposures as well. In addition, extensive chronic toxicity information has been reported for BaP and the developmental endpoint is the most sensitive. Several subchronic and/or chronic toxicity values for other PAHs are considerably higher (>2 orders of magnitude) than the chronic RfC for BaP, raising the question of whether use of BaP as the indicator chemical for the fraction may be overly conservative. However, emerging information (Crepeaux et al., 2014; Yan et al., 2014; Chu et al., 2013; Crepeaux et al., 2013, 2012) on mixtures shows neurodevelopmental effects at exposures lower than levels at which BaP induces toxicity, suggesting that use of BaP values for the whole fraction may be more appropriate than implied by comparisons limited to compounds with toxicity values.

⁷Both the subchronic and chronic p-RfCs for BeP are the same as those for BaP. The U.S. EPA's BeP p-RfCs were developed using a read-across approach where BaP was the selected analogue.

Fuente: Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons US EPA 2022

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 9/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



**Figura 6. Representatividad de la RfC de benzo(a)pireno para la fracción aromática pesada
(Informe US EPA PPRTV 2022 para fracción aromática pesada de TPH)**

6.2.1. Inhalation Noncancer Assessment the Indicator Chemical Method for the Aromatic High Carbon Range Fraction

The lowest RfC among the compounds in this fraction that is not a screening value is the chronic RfC for BaP (see Table 8); this value is recommended for chronic exposures to the aromatic high carbon range fraction if available analytical chemistry data do not identify concentrations of individual chemicals composing this fraction. Although a subchronic toxicity value is not available for BaP, the chronic RfC is based on a developmental exposure endpoint, so the RfC value is applicable to subchronic exposures as well. The few available subchronic and/or chronic toxicity values for other PAHs are considerably higher (>2 orders of magnitude) than the chronic RfC for BaP, raising the question of whether use of BaP as the indicator chemical for the fraction may be overly conservative. However, a mixtures study suggests that neurodevelopmental effects may occur at exposures lower than levels at which BaP induces toxicity (Slotkin et al., 2017), suggesting that use of BaP values for the whole fraction may be more appropriate than implied by comparisons limited to compounds with toxicity values. At this time, the database for members of this fraction and relevant mixtures that elicit neurodevelopmental effects is not comprehensive. Thus, BaP is considered an appropriate indicator because it has the lowest RfC among fraction members and the most comprehensive database. In addition, because neurodevelopmental effects are the critical effect for oral exposures to BaP, there is evidence that BaP can affect neurodevelopmental outcomes. However, users of the indicator chemical method should understand that there could be more uncertainty associated with the application of this toxicity value to the aromatic high carbon range fraction than for its derivation in U.S. EPA (2017a).

Fuente: Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for The Aromatic High Carbon Range Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Fraction (Noncancer) US EPA 2022

Las mezclas de PAH empleadas en esos estudios, y que se aportan de forma concreta como anexo, se resumirían en la siguiente tabla, en la que se ha incluido el rango total de compuestos considerados y los compuestos que participan en mayor porcentaje de la mezcla.

Tabla 2. Composición mezclas de PAHs empleadas en los diferentes estudios citados en US EPA PPRTV

Estudios	Tipo estudio/vía de exposición	Rangos y principales compuestos
Wevand et al	Carcinogenicidad oral	Mezcla de 21 PAH en el rango EC9-EC33, compuesta en un 77% por naftaleno, metilnaftalenos, fenantreno, pireno, fluoranteno, acenaftileno y fluoreno (EC11-EC23)

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 10/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Estudios	Tipo estudio/vía de exposición	Rangos y principales compuestos
Crepeaux et al	Toxicidad sistémica oral en el neurodesarrollo	Mezcla de 16 PAH en el rango EC11-EC33 compuesta en un 77% por fenantreno, naftaleno, fluoranteno y acenafteno (EC11-EC21)
Yan et al ⁽¹⁾ Chu et al	Toxicidad sistémica por inhalación en el desarrollo	Mezcla de 9 PAH en el rango EC22-EC33 compuesta en un 67% por benzo(ghi)perileno y benzo(k)fluoranteno (EC29-EC30)
Yan et al ⁽²⁾ Chu et al	Toxicidad sistémica por inhalación en el desarrollo	Mezcla de 9 PAH en el rango EC22-EC33 compuesta en un 53% por pireno (EC 22,45) y un 13% por benzo(ghi)perileno (EC 30,37)

(1) Según anexo del informe toxicológico US EPA 2022 para la fracción aromática pesada

(2) Según los estudios originales de los autores (Chu 2013 y Yan 2014)

Existe una discrepancia en lo concerniente a la composición de la mezcla empleada en los estudios de inhalación entre las fuentes originales y el informe toxicológico de la US EPA, no obstante, en cualquier caso, los estudios orales y sobre cultivos de células neuronales se han llevado a cabo sobre mezclas representativas de toda la fracción pesada (EC11-EC35), desde el naftaleno hasta el indeno(1,2,3-cd)pireno, mientras que en los estudios específicos de inhalación sólo consta que se hayan ensayado mezclas representativas de la última fracción EC21-EC35 del grupo. Aún así la US EPA considera que los efectos toxicológicos del conjunto de la fracción aromática pesada quedaría bien representada a efectos de inhalación mediante la RfC del benzo(a)pireno, advirtiendo que esta asignación conlleva un nivel de incertidumbre mayor que el que se le atribuye a este valor cuando representa la toxicidad inhalatoria del benzo(a)pireno.

3.4. Consideraciones sobre el conservadurismo de la constante RfC

Se han evaluado riesgos en la herramienta RBCA Tool Kit a bajas concentraciones de fracciones aromáticas pesadas, tanto por inhalación en espacios abiertos por vapores, espacios abiertos por partículas y espacios cerrados (intrusión de vapores).

Las condiciones de partida han sido las siguientes:

- Frecuencia de exposición de 83,33 y 350 días/año para receptor comercial/residencial respectivamente.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 11/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



- Concentración en suelos de 1mg/Kg por cada una de las fracciones aromáticas pesadas (4 mg/Kg en total)
- Espesor de suelos afectados entre 0 y 3 m del suelo.
- Modelo de volatilización superficial ASTM
- Volatilización de partículas fijada en el valor de 1/PEF de 1,7E-08 Kg/m3 recogido en el DRCS-03.
- Altura de zona de mezcla del aire ambiente y velocidad del viento por defecto de la herramienta RBCA Tool Kit.
- Características del suelo por defecto de la herramienta RBCA Tool Kit (suelo ASTM, pH, CO...)
- Modelo de volatilización hacia el interior de edificios de Johnson & Ettinger
- Características de la edificación propias de la herramienta RBCA Tool Kit, salvo en lo referente a la fracción de grietas que se adopta un valor de 2E-04/1E-03 para la edificación comercial/residencial respectivamente y 3/2,5 Pa de diferencial de presión interior-exterior también para edificación comercial/residencial respectivamente, de acuerdo a DRCS-03.

Los resultados de riesgo y valores objetivo obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 3. Valores de riesgo obtenido con bajas concentraciones de aromáticos pesados en suelos

Vía de exposición	Comercial on site		Residencial on site	
	HQ	Valor objetivo (mg/Kg)	HQ	Valor objetivo (mg/Kg)
Inhalación vapores espacios abiertos				
Aromáticos EC10-EC12	3,5	0,28	15	0,067
Aromáticos EC12-EC16	1,5	0,65	6,5	0,15
Aromáticos EC16-EC21	0,44	2,3	1,9	0,54
Aromáticos EC21-EC35	0,035	>8,3	0,15	6,8
Suma	5,5		23	
Inhalación partículas espacios abiertos				
Aromáticos EC10-EC12	1,9E-3	520	8,2E-3	120
Aromáticos EC12-EC16	1,9E-3	>290	8,2E-3	120

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 12/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



	Comercial on site		Residencial on site	
Aromáticos EC16-EC21	1,9E-3	>100	8,2E-3	100
Aromáticos EC21-EC35	1,9E-3	>8,3	8,2E-3	>8,3
Suma	7,8E-3		3,3E-2	
Inhalación vapores espacios cerrados (intrusión vapores)				
Aromáticos EC10-EC12	6,8	0,15	120	0,0086
Aromáticos EC12-EC16	1,3	0,77	22	0,045
Aromáticos EC16-EC21	0,11	9,4	1,8	0,55
Aromáticos EC21-EC35	6,6E-4	>8,3	0,011	>8,3
Suma	8,2		140	

Valores en rojo superan el umbral de riesgo permitido por el RD 9/2005 (HQ=1)

También se han probado los riesgos y valores objetivo resultantes a partir de las aguas subterráneas con las siguientes condiciones de partida:

- Concentraciones de partida de 50 µg/l para cada fracción
- Profundidad al nivel freático de 3m (somero)

Los resultados de riesgo y valores objetivo obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 4. Valores de riesgo obtenido con bajas concentraciones de aromáticos pesados en aguas

	Comercial on site		Residencial on site	
Vía de exposición	HQ	Valor objetivo (µg/l)	HQ	Valor objetivo (mg/Kg)
Inhalación vapores espacios abiertos				
Aromáticos EC10-EC12	3,5E-1	140	1,5E+0	34
Aromáticos EC12-EC16	2,1E-1	230	9,0E-1	55
Aromáticos EC16-EC21	1,1E-1	460	4,6E-1	110
Aromáticos EC21-EC35	9,6E-3	>6,6	4,0E-2	>6,6
Suma	6,8E-1		2,9E+0	
Inhalación vapores espacios cerrados (intrusión vapores)				



	Comercial on site		Residencial on site	
Aromáticos EC10-EC12	7,3E+0	6,8	1,2E+2	0,43
Aromáticos EC12-EC16	2,9E+0	17	4,8E+1	1
Aromáticos EC16-EC21	8,0E-1	63	1,3E+1	3,7
Aromáticos EC21-EC35	4,1E-2	>6,6	6,9E-1	>6,6
Suma	1,1E+1		1,8E+2	

Valores en rojo superan el umbral de riesgo permitido por el RD 9/2005 (HQ=1)

Los riesgos en suelos son bastante elevados, con valores objetivo difícilmente verificables, para las dos vías de volatilización de vapores (espacios abiertos y cerrados), especialmente para las fracciones EC10-EC16 aunque en menor medida también para la EC16-EC21, tanto para el receptor comercial como especialmente para el residencial.

Se ha probado con otras litologías más impermeables, como un limo arcilloso, y si bien los niveles de riesgo se reducen, en el escenario comercial aún siguen dando riesgos ligeramente superiores a los permitidos con las concentraciones de partida de 4 mg/Kg.

Para la vía de inhalación de partículas no se observan riesgos significativos en ninguna de las fracciones y para ninguno de los receptores, estableciéndose valores objetivo de al menos alguna centena de mg/kg para cada fracción.

En lo que respecta a las aguas subterráneas, los riesgos por inhalación en espacios abiertos no parecen excesivamente elevados, siendo superiores a los permitidos únicamente para la fracción más ligera en un escenario residencial, determinándose valores objetivo asumibles, mientras que para la inhalación en interiores si son más elevados, con valores objetivo restrictivos en algunas fracciones.

Se ha probado con otra litología menos permeable, con un limo concretamente, y los riesgos desaparecerían (espacios abiertos) o serían ligeramente superiores a los admisibles (comercial en interior), salvo en la intrusión de vapores en escenario residencial que seguirían siendo claramente superiores a los permitidos.

Se concluye que se obtendrían valores excesivamente conservadores en la volatilización desde los suelos, y en la volatilización también desde las aguas subterráneas hacia espacios interiores.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 14/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



3.5. Consideraciones sobre la volatilidad de la fracción aromática pesada. Criterio seguido por US EPA

Uno de los factores más influyentes en la volatilización de las sustancias contaminantes hacia el aire exterior o el interior de los edificios, según los modelos de transporte habitualmente empleados por la herramienta RBCA Tool Kit y otras (ASTM, QC EPA, Johnson & Ettinger), es el coeficiente de partición agua-aire o coeficiente de Henry.

Los valores adoptados para este factor varían ampliamente. Los valores empleados por la herramienta RBCA Tool Kit proceden del organismo ambiental del estado de Texas, y éstos a su vez de la publicación del grupo de trabajo TPHCWG, del cual también adopta sus valores la herramienta RISC. US EPA y la base de datos RAIS sin embargo emplean valores significativamente más reducidos. Los modelos PVIScreen y BioVapor, específicos para la intrusión de vapores, que toman en consideración la biodegradación de los hidrocarburos, emplean valores en líneas generales también más reducidos, y que en todo caso, llegan hasta la fracción C10-C11, la fracción más ligera dentro de la actual fracción aromática pesada de la US EPA, en la cual se encuentra por ejemplo el naftaleno; el resto de las fracciones no son consideradas potencialmente peligrosas en lo que a la intrusión de vapores se refiere.

Tabla 5. Conjunto de constantes de Henry adimensional (H') disponibles para las fracciones aromáticas

	RBCA Tool Kit (TPHCWG)	TRRP y TPHCWG	RISC (TPHCWG)	US EPA y RAIS	Otros valores RAIS	BioVapor y PVIScreen ⁽³⁾
>5-7 C aromatics	0,223/0,227	0,227/0,23	0,228	0,227	0,225 ⁽¹⁾	0,23
>7-8 C aromatics	0,227	0,27	0,27			0,28
>8-9 C aromatics	0,479	0,48	0,49			0,263
>9-10 C aromatics				0,33		
>10-11 C aromatics	0,135	0,14	0,14	1,87E-5		0,19
>11-12 C aromatics						-
>12-16 C aromatics	0,0512	0,053	0,054			-
>16-21 C aromatics	0,0132	0,0130	0,013			-
>21-35 C aromatics	0,00066	0,00067	0,00068			-

(1) Datos alternativos aportados en RAIS procedentes de Yaws' Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds

(2) Datos alternativos aportados en RAIS procedentes de CRC Handbook of Chemistry and Physics in its 91st Edition

(3) Datos procedentes de DeVaul, G.E. 2007. Indoor vapor intrusion with oxygen-limited biodegradation for a subsurface gasoline source. Environmental Science & Technology 41, 3241-3248

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 15/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



En línea con ello, la US EPA, que no contempla la aplicación del modelo de Johnson & Ettinger para la volatilización desde los suelos hacia espacios interiores, y por tanto no precisa de la aplicación de la constante de Henry, sino que aplica factores genéricos de atenuación experimentales desde el gas del suelo o las aguas subterráneas, considera volátiles únicamente aquellos compuestos que cumplen alguna de las siguientes dos condiciones:

- Presión de vapor > 1mm Hg
- Constante de Henry > 1E-05 atm-m³/mol que equivale a una constante adimensional H' > 4,1E-4

En base a esos criterios, y aunque algunos de los compuestos individuales incluidos en la fracción sí cumplen el criterio de volatilidad, US EPA no considera volátil la fracción aromática pesada en su conjunto, al atribuirle las características físico-químicas del benzo(a)pireno, que no cumple los criterios de volatilidad, ni en lo que respecta a la presión de vapor ni a la constante de Henry. El resto de las fracciones de TPH, tanto alifáticas como aromáticas sí cumplen los criterios de volatilidad.

Figura 7. Constante de Henry y Presión de Vapor fracciones de TPH (US EPA)

Contaminant	Volatility Parameters				
	H' (unitless)	HLC (atm-m ³ /mole)	H' and HLC Ref	VP (mmHg)	VP Ref
Analyte					
Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic High)	3,3E+02	8,2E+00	EPI	1,4E-01	EPI
Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic Low)	1,9E+00	4,6E-02	SURROGATE	9,5E+01	SURROGATE
Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic Medium)	1,4E+02	3,4E+00	EPI	4,5E+00	SURROGATE
Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic High)	1,9E-05	4,6E-07	SURROGATE	5,5E-09	EPI
Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic Medium)	2,6E-01	6,4E-03	SURROGATE	2,1E+00	SURROGATE

Fuente: Regional Screening Levels Summary Tables y Chemical Specific Parameters Table. US EPA Nov 2023

No obstante, se le atribuye la RfC de 2E-06 mg/m³ igualmente procedente del benzo(a)pireno, quedando su uso por tanto en la práctica restringido a la evaluación de riesgos por inhalación de partículas.

Figura 8. Volatilidad y RfC adoptada para las diferentes fracciones de TPH (US EPA)

Toxicity and Chemical-specific Information												Contaminant		
SFO (mg/kg- day) ⁻¹	k _e y	IUR (ug/m ³) ⁻¹	k _e y	RfD _o (mg/kg- day)	k _e y	RfC _i (mg/m ³)	k _e y	v _o l	mutagen	GIABS	ABS _d	C _{sat} (mg/kg)	Analyte	CAS No.
				3.0E+00	P		V			1		3.4E-01	Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic High)	E1790670
				5.0E-03	P	4.0E-01	P	V		1		1.1E+02	Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic Low)	E1790666
				1.0E-02	X	1.0E-01	P	V		1		6.9E+00	Total Petroleum Hydrocarbons (Aliphatic Medium)	E1790668
				3.0E-04	P	2.0E-06	P		M	1	0.13		Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic High)	E1790676
				1.0E-02	P	6.0E-02	P	V		1		2.3E+02	Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic Medium)	E1790674

Fuente: Regional Screening Levels Summary Tables. US EPA Nov 2023



Por tal motivo, el calculador de los Vapor Intrusion Screening Levels (VISLs, equivalentes a NGRs en fase gaseosa), que permite también el cálculo de riesgos, no ofrece riesgos por intrusión de vapores para la fracción aromática pesada.

Se entiende que los compuestos individuales volátiles incluidos en la fracción, que disponen de RfC propia, como es el caso del naftaleno y el 1,1-Bifenilo, según la opción 2 del informe toxicológico de los TPH, serían analizados de forma específica y evaluados sus riesgos de forma independiente.

Los compuestos individuales mejor conocidos de los incluidos en la fracción aromática pesada que cumplen los criterios de volatilidad serían los que aparecen con la constante de Henry (HLC) coloreada en rojo en la figura adjunta, básicamente los incluidos en las fracciones EC11-EC21, de los cuales se conoce la constante inhalatoria RfC únicamente en los casos del Naftaleno (dato IRIS) y del 1,1'-Bifenilo (valor EPA PPRTV clasificado como de screening).

Figura 9. Cálculo de riesgos por intrusión de vapores para fracción aromática pesada (US EPA)

Commercial Vapor Intrusion Screening Levels (VISL)

2

Key: I = IRIS; P = PPRTV; O = OPP; A = ATSDR; C = Cal EPA; X = PPRTV Screening Level; H = HEAST; D = DWSHA; W = TEF applied; E = RPF applied; U = user provided; G = see RSL User's Guide Section 5; CA = cancer; NC = noncancer.

Chemical	CAS Number	Does the chemical meet the definition for volatility? (HLC>1E-5 or VP>1)	Does the chemical have inhalation toxicity data? (IUR and/or RfC)	Is Chemical Sufficiently Volatile and Toxic to Pose Inhalation Risk Via Vapor Intrusion from Soil Source? (C _{vp} > C _{is} , Target?)	Is Chemical Sufficiently Volatile and Toxic to Pose Inhalation Risk Via Vapor Intrusion from Groundwater Source? (C _{gc} > C _{is} , Target?)	Target Indoor Air Concentration (TCR=1E-05 or THQ=1) MIN(C _{ac} , C _{isnc}) (µg/m³)	Toxicity Basis	Target Sub-Slab and Near-source Soil Gas Concentration (TCR=1E-05 or THQ=1) C _{sg} , Target (µg/m³)	Target Groundwater Concentration (TCR=1E-05 or THQ=1) C _{gw} , Target (µg/L)	Is Target Groundwater Concentration < MCL? (C _{gw} < MCL?)
Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic High)	NA	No	Yes	No (not volatile)	No (not volatile)	8.76E-03		-	-	
Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic Medium)	NA	Yes	Yes	Yes	Yes	2.63E+02	NC	8.76E+03	1.00E+03	--

Pure Phase Vapor Concentration C _{vp} (25 °C) (µg/m³)	Maximum Groundwater Vapor Concentration C _{gc} (µg/m³)	Temperature for Maximum Groundwater Vapor Concentration (°C)	Lower Explosive Limit LEL (% by volume)	LEL Ref	IUR (ug/m³) ¹	IUR Ref	RfC (mg/m³)	RfC Ref	Mutagenic Indicator	Carcinogenic VISL TCR=1E-05 C _{ac} (µg/m³)	Noncarcinogenic VISL THQ=1 C _{isnc} (µg/m³)
7.45E-02	3.03E-02	25	-	-	-	-	2.00E-06	P	Mut	-	8.76E-03
1.35E+07	1.58E+07	25	0.90	CRC	-	-	6.00E-02	P	No	-	2.63E+02

Fuente: Vapor Intrusion Screening Levels (VISL) calculator. US EPA Nov 2023

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 17/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Figura 10. Constante de Henry y Presión de Vapor para compuestos incluidos en la fracción aromática pesada de TPH (US EPA)

Contaminant			Volatility Parameters					RfC	
Analyte	EC	Fracción	H* (unitless)	HLC (atm-m ³ /mole)	H* and HLC Ref	VP (mmHg)	VP Ref	RfCi (mg/m3)	key
~Naphthalene	11,69	>EC10-EC12 (EC11-EC12)	1,8E-02	4,4E-04	PHYSPROP	8,5E-02	PHYSPROP	3,0E-03	I
~Methylnaphthalene, 2-	12,84	>EC12-EC16	2,1E-02	5,2E-04	PHYSPROP	5,5E-02	PHYSPROP		
~Methylnaphthalene, 1-	12,99	>EC12-EC16	2,1E-02	5,1E-04	PHYSPROP	6,7E-02	PHYSPROP		
Biphenyl, 1,1'-	14,26	>EC12-EC16	1,3E-02	3,1E-04	PHYSPROP	8,9E-03	PHYSPROP	4,0E-04	X
Acenaphthylene	15,06	>EC12-EC16	4,7E-03	1,1E-04	PHYSPROP	6,7E-03	PHYSPROP		
~Acenaphthene	15,5	>EC12-EC16	7,5E-03	1,8E-04	PHYSPROP	2,2E-03	PHYSPROP		
~Fluorene	16,55	>EC16-EC21	3,9E-03	9,6E-05	PHYSPROP	6,0E-04	PHYSPROP		
Phenanthrene	19,36	>EC16-EC21	1,7E-03	4,2E-05	PHYSPROP	1,2E-04	PHYSPROP		
~Anthracene	19,43	>EC16-EC21	2,3E-03	5,6E-05	PHYSPROP	6,5E-06	EPI		
1-Methylphenanthrene	20,73	>EC16-EC21	2,0E-03	4,9E-05	EPI	1,5E-05	EPI		
~Pyrene	20,8	>EC16-EC21	4,9E-04	1,2E-05	PHYSPROP	4,5E-06	PHYSPROP		
~Fluoranthene	21,85	>EC21-EC35	3,6E-04	8,9E-06	PHYSPROP	9,2E-06	PHYSPROP		
~Benz[a]anthracene	26,37	>EC21-EC35	4,9E-04	1,2E-05	PHYSPROP	2,1E-07	PHYSPROP		
~Chrysene	27,41	>EC21-EC35	2,1E-04	5,2E-06	PHYSPROP	6,2E-09	PHYSPROP		
~Benzo[b]fluoranthene	30,14	>EC21-EC35	2,7E-05	6,6E-07	PHYSPROP	5,0E-07	PHYSPROP		
~Benzo[k]fluoranthene	30,14	>EC21-EC35	2,4E-05	5,8E-07	PHYSPROP	9,7E-10	EPI		
~Benzo(e)pyrene	31,17	>EC21-EC35	1,2E-05	3,0E-07	EPI	5,7E-09	EPI	2,0E-06	X
~Benzo[a]pyrene	31,34	>EC21-EC35	1,9E-05	4,6E-07	PHYSPROP	5,5E-09	EPI	2,0E-06	I
~Perylene	31,34	>EC21-EC35	1,5E-04	3,7E-06	EPI	5,3E-09	PHYSPROP	2,0E-06	X
~Dibenz[a,h]anthracene	33,92	>EC21-EC35	5,8E-06	1,4E-07	EPI	9,6E-10	EPI		
Benz(ghi)perylene	34,01	>EC21-EC35	1,4E-05	3,3E-07	PHYSPROP	1,0E-10	PHYSPROP		
~Indeno[1,2,3-cd]pyrene	35,01	>EC21-EC35	1,4E-05	3,5E-07	PHYSPROP	1,3E-10	PHYSPROP		
Total Petroleum Hydrocarbons (Aromatic High)			1,9E-05	4,6E-07	SURROGA	5,5E-09	EPI	2,0E-06	P

Fuente: Regional Screening Levels Summary Tables y Chemical Specific Parameters Table. US EPA Nov 2023

3.6. Valoración de las alternativas propuestas

Respecto a las dos alternativas propuestas para solventar la problemática, se hacen las siguientes valoraciones.

Opción A

El análisis individual de los diferentes PAH más conocidos (16-PAH), si bien es necesario para caracterizar de forma adecuada los riesgos cancerígenos, en lo que respecta a la evaluación de los riesgos por inhalación no cancerígenos no aporta información de excesiva utilidad, a excepción del compuesto naftaleno, puesto que del resto de los 16-PAHs no se conocen por el momento valores para la RfC.

Una vez analizado y evaluado segregadamente el parámetro naftaleno, las RfC que parecen estar propuestas en la alternativa para evaluar los riesgos inhalatorios del resto de la fracción aromática pesada no serían muy apropiadas, puesto que proceden de compuestos que no pertenecerían a dicha fracción

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 18/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLK7WA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



según el sistema de clasificación de EPA 2022 (EC11-EC35), sino a la fracción aromática media según esa misma clasificación (EC9-EC<11).

- El valor de RfC disponible en TPHCWG 1997 de 0,2 mg/m³, que tradicionalmente se ha aplicado a las fracciones aromáticas medias según la clasificación del TPHCWG (C>8-C16), procede de una mezcla de compuestos aromáticos C9 (EC9). Por otro lado además, se trata de una constante establecida en 1997.
- Para fracciones C>16 no existen valores RfC en TPHCWG, por lo que habría que acudir según la propuesta a valores de la EPA PPRTV 2009, correspondientes a la entonces fracción media, que según ese sistema de clasificación abarcaba el rango EC9-EC<22. EPA sugería para dicha fracción el valor de 0,1 mg/m³ procedente del valor de la nafta de alto punto de fusión (HFAN), a excepción del contenido en naftaleno que debía ser evaluado de forma independiente con una RfC propia de 3E-03 mg/m³. La nafta HFAN es una mezcla de compuestos en el rango C9-C10 (carbonos reales), que seguiría quedando englobada dentro de la fracción aromática media de la división de la EPA de 2022, y por tanto fuera de la nueva fracción aromática pesada EC11-EC35.

Tabla 6. Correspondencia entre fracciones analíticas y fracciones toxicológicas de TPH

Fracción analítica	RfC aromáticas de interés	Fracción toxicológica TPHCWG ⁽¹⁾	Fracción toxicológica EPA PPRTV 2009	Fracción toxicológica EPA PPRTV 2022
Alifáticos >EC5-EC6		Alifática ligera	Alifática ligera	Alifática ligera
Alifáticos >EC6-EC8				
Alifáticos >EC8-EC10		Alifática media	Alifática media	Alifática media
Alifáticos >EC10-EC12				
Alifáticos >EC12-EC16				
Alifáticos >EC16-EC21		Alifática pesada	Alifática pesada	Alifática pesada
Alifáticos >EC21-EC35				
Aromáticos >EC5-EC7		Benceno	Benceno	Benceno
Aromáticos >EC7-EC8		Tolueno	Tolueno	Tolueno
Aromáticos >EC8-EC10		Aromática media	Aromática media	Etilbenceno y Xileno
	RfC TPHCWG, HFAN y Trimetilbencenos			Aromática media (EC9 – EC<11)
Aromáticos >EC10-EC12				Aromática pesada (EC11 – EC35)
Aromáticos >EC12-EC16	RfC Naftaleno			
Aromáticos >EC16-EC21				
Aromáticos >EC21-EC35	RfC Benzo(a)pireno	Aromática pesada	Aromática pesada	

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 19/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



(1) Las fracciones de TPHCWG están basadas en números de carbonos reales, tradicionalmente asociadas a los mismos intervalos de equivalentes de carbono

En caso de no disponer de analíticas segregadas para naftaleno y/o los trimetilbencenos, el documento reconocido DRCS-03 recomendaba el uso de la RfC del naftaleno para el conjunto de las fracciones medias entonces comprendidas en el intervalo EC9-EC<22. Este valor sí pertenecería a la nueva fracción aromática pesada de EPA 2022.

Opción B

La extrapolación de constantes inhalatorias a partir de constantes orales, como parece ser la propuesta ofrecida, es una medida a llevar a cabo en casos excepcionales de no disponer de información alguna sobre la RfC, y que está en desuso, puesto que la US EPA no la considera técnicamente adecuada.

La metodología actual de EPA recomienda la adopción de constantes toxicológicas procedentes de mezclas de compuestos representativos de la fracción de TPH, y en su ausencia, la adopción de algún parámetro incluido en la fracción como indicador para el grupo, cuya RfC se extrapola para el conjunto, eligiendo normalmente la más conservadora de entre las posibles, hecho por el cual adopta la RfC del benzo(a)pireno para la fracción aromática pesada.

Existiendo dicha RfC, o incluso alguna otra como la del naftaleno o la del 1,1'-Bifenilo aunque se trate éste último de un valor de "screening", no resulta técnicamente defendible que se lleve a cabo una extrapolación ruta a ruta desaconsejada por la metodología oficial.

3.7. Conclusiones y propuestas

En función de la información recopilada, cabría establecer las siguientes conclusiones:

- El valor de RfC del benzo(a)pireno no es un valor de "screening", sino un valor toxicológico incluido en la base de datos IRIS, del mayor nivel de jerarquía por tanto de acuerdo a las preferencias de la US EPA, que son las mismas que las establecidos por la Junta de Andalucía en su documento reconocido DRCS-03, con un grado de confianza bajo-medio debido a la escasez de referencias disponibles.
- La adopción de esta RfC para la fracción aromática pesada (EC11-EC35 según EPA PPRTV 2022) obedece, ante la ausencia de valores RfC para mezclas de productos representativas para el conjunto de la fracción, al método del enfoque del indicador químico, eligiendo el valor de la RfC más conservadora disponible para algún compuesto de la fracción, siguiendo la metodología

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 20/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



considerada por la US EPA en estos casos. Esta aproximación introduce lógicamente una incertidumbre significativa, adicional a la que posee el valor toxicológico en sí mismo.

- La US EPA cita no obstante varios estudios toxicológicos sobre mezclas de PAHs, en las cuales el benzo(a)pireno no es mayoritario, en los que se desprenden efectos nocivos a concentraciones similares o incluso inferiores a las que han servido como punto de partida para establecer la RfC del benzo(a)pireno, por lo que considera que estas mezclas pueden producir efectos de sinergia, y que este valor puede ser representativo del conjunto.
- Esos estudios toxicológicos están orientados a evaluar la carcinogenicidad oral, la toxicidad oral sistémica, la toxicidad en cultivos de células neuronales y en dos estudios de inhalación (Chu et al 2013 y Yan et al 2014). Estos estudios inhalatorios, a diferencia del resto de estudios citados, han sido desarrollados sobre mezclas de PAHs pertenecientes de forma exclusiva a la fracción más pesada (EC21-EC35) dentro de la fracción aromática pesada (EC11-EC35).
- Los estudios toxicológicos inhalatorios del benzo(a)pireno que han dado pie al establecimiento de su RfC, así como los dos estudios toxicológicos también inhalatorios citados anteriormente con mezclas de PAHs, se han llevado a cabo con concentraciones en aire obtenidas a partir de aerosoles, conseguidos mediante la adición de los contaminantes a partículas de negro de humo puestas en suspensión, en el caso de los estudios con benzo(a)pireno, o a soluciones líquidas a las que se aplica aire comprimido, en el caso de los estudios con mezclas de PAH. El soporte del aerosol se comprueba que es inerte y no interfiere en la toxicidad observada, la cual obedece a las concentraciones de contaminantes en aire ensayadas.
- La US EPA emplea el valor de RfC de EPA PPRTV 2022 procedente del benzo(a)pireno ($2E-06 \text{ mg/m}^3$) en sus bases de datos para la fracción aromática pesada (EC11-EC35), y así por ejemplo es el valor empleado para el cálculo de los Regional Screening Levels (equivalente a los NGR), que tienen en cuenta vías de exposición por inhalación en exteriores para diferentes receptores, así como en el cálculo de los Vapor Intrusion Screening Levels (equivalente a los NGR en fase vapor del suelo).
- La US EPA no obstante no considera a esta fracción en su conjunto como volátil, y por tanto no es tenida en cuenta en los cálculos de riesgos por inhalación de vapores en exterior o por intrusión de vapores en interior, solamente en la inhalación de partículas, aunque existen compuestos individuales que forman parte de la fracción, que sí son considerados volátiles, y para los que sí se calculan riesgos por inhalación de vapores si disponen de la correspondiente constante RfC (básicamente naftaleno y 1-1'-Bifenilo). Estos compuestos pertenecen la fracción EC11-EC21 (con constante toxicológica solo en el rango EC11-E16), excluyendo por tanto los compuestos incluidos en la fracción más pesada EC21-EC35.

Algunos modelos específicos para la intrusión de vapores (PVIScreen y BioVapor) excluyen las fracciones EC > 11.

Los criterios de volatilidad adoptados por US EPA (presión de vapor > 1 mmHg y constante de Henry > $1E-05$) son escasamente superados a partir de la fracción EC > 16, mismo límite que la Guía de Cataluña sobre ensayos de vacío en estaciones de servicio establece para las fracciones volátiles, y

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 21/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



fracción más pesada que los laboratorios llegan a analizar en muestras de vapores tomadas en tubos sorbentes.

- El uso del valor de RfC del benzo(a)pireno para el cálculo de riesgos por inhalación, tanto en exteriores a partir de los modelos de volatilización superficial, como en interiores a partir del modelo de Johnson & Ettinger, a partir de la contaminación de los suelos y empleando como herramienta de cálculo la aplicación RBCA Tool Kit for Chemical Releases, determina riesgos muy elevados y valores objetivo difícilmente alcanzables para la mayoría de las fracciones incluidas en el grupo, especialmente para el rango EC10-EC16. En menor medida también ocurre este hecho para la volatilización hacia espacios interiores desde las aguas subterráneas aplicando el modelo Johnson & Ettinger.

En el cálculo de riesgos por inhalación de partículas en exteriores, y a pesar de emplear el factor de emisión de partículas (1/PEF) contemplado por el documento reconocido DRCS-03, significativamente más conservador que las predicciones realizadas por los modelos exclusivamente climáticos incluidos en RBCA Tool Kit, los resultados de riesgo obtenidos son aparentemente normales así como los niveles objetivo resultantes.

La deriva en los cálculos observada es posible por tanto sea debida en gran medida al sobredimensionamiento de la volatilización de estos compuestos desde la matriz suelo calculada por los modelos citados. Cabe indicar que la US EPA desde hace tiempo no contempla la modelización de la volatilización de fracciones de TPH desde los suelos en la intrusión de vapores en espacios interiores, empleando únicamente como datos de partida concentraciones en fase vapor del suelo y/o en aguas subterráneas, y empleando factores de atenuación experimentales para predecir las concentraciones resultantes en el interior de las edificaciones.

- Las propuestas alternativas apuntadas en alguna de las consultas recibidas para solventar el problema no se consideran del todo recomendables, puesto que parten de valores RfC de compuestos que no pertenecen a la fracción aromática pesada, o bien sugieren una extrapolación ruta a ruta desde la constante oral que no está soportada técnicamente por las últimas recomendaciones de la metodología US EPA, especialmente si existen valores RfC de compuestos que puedan ser adoptados como parámetros indicadores para el grupo.

Teniendo en cuenta esas conclusiones, se sugiere la siguiente propuesta:

- Puesto que los estudios toxicológicos por inhalación para mezclas de PAHs solo han contemplado compuestos de la fracción más pesada (EC21-EC35), la cual no es volátil, no está tan claro como sí parece aplicar en la vía oral, que la toxicidad de la fracción aromática pesada en su conjunto, y especialmente en su componente volátil, quede bien representada por la RfC del benzo(a)pireno, y de hecho la US EPA no la aplica en la práctica al considerar a la fracción globalmente no volátil.
- Para esta fracción pesada volátil, que abarcaría siendo conservadores el rango EC11-EC21, los valores RfC disponibles son únicamente los correspondientes al naftaleno (3E-03 mg/m³) y al 1,1'-Bifenilo (4E-04 mg/m³), siendo este último un valor de screening que posee mayor incertidumbre,

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 22/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



aún cuando su valor podría ser congruente en el del naftaleno (les separa un orden de magnitud, quizá explicable por la incertidumbre del valor screening).

El naftaleno por otro lado es un compuesto cuya presencia en la fase vapor se ha constatado con frecuencia. En caso de realizar ACR Tier 3 partiendo de resultados analíticos en fase vapor, esta constante seguiría siendo a priori representativa, pues dichos análisis raramente mostrarán resultados significativos más allá de EC>12.

Se propone por tanto aplicar la RfC del naftaleno a la fracción aromática EC11-EC21, tanto para la inhalación de volátiles como de partículas. En relación a esta última vía de exposición, no se le presupone mayor representatividad a la RfC del benzo(a)pireno por haberse determinado a partir de aerosoles con material particulado. Dicho material es inerte y no influye a priori en los resultados obtenidos, además de que la US EPA no discrimina diferentes valores de toxicidad entre material volátil y particulado para este tipo de parámetros.

En comparación con la metodología aplicada por US EPA resultaría una práctica conservadora, pues ésta determinaría los riesgos por volatilización únicamente de los parámetros individuales con disponibilidad de RfC propia, como es el caso del naftaleno y el 1-1'-Bifenilo, no del resto de la fracción EC11-EC21.

- El valor RfC del benzo(a)pireno se aplicaría a la fracción aromática EC21-EC35, que es en la cual se han desarrollado los estudios toxicológicos donde se ha comprobado fehacientemente su aplicabilidad.

No sería estrictamente necesario, pero para ser congruentes con la metodología de referencia y evitar que esta fracción pudiera participar de alguna forma significativa en los riesgos por volatilización (ver valor objetivo en escenario residencial en espacios abiertos de la tabla siguiente), se consideraría que la fracción aromática EC21-EC35 es no volátil a todos los efectos, con arreglo a los criterios empleados por US EPA, con independencia de que la herramienta RBCA Tool Kit realice estimaciones de volatilización a partir de su constante teórica de Henry.

En esta fracción se calcularían únicamente riesgos por inhalación a causa de la suspensión de partículas en suelos desprovistos de pavimento.

Se han evaluado los supuestos anteriores en RBCA Tool Kit aplicando la RfC de naftaleno en la fracción EC10-E21, resultando valores objetivo razonables a los escenarios considerados y una contaminación superficial y en contacto con la solera del edificio. La única excepción la constituiría el valor objetivo de la fracción más pesada EC21-EC35 en escenario residencial exterior, en la cual se sigue aplicando la RfC del benzo(a)pireno, en este escenario tanto para partículas como para unos hipotéticos vapores.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 23/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Tabla 7. Valores de riesgo obtenido con bajas concentraciones de aromáticos pesados en suelos y RfC de naftaleno para EC10-EC21

	Comercial on site		Residencial on site	
Vía de exposición	HQ	Valor objetivo (mg/Kg)	HQ	Valor objetivo (mg/Kg)
Inhalación vapores espacios abiertos				
Aromáticos EC10-EC12	2,4E-3	420	9,9E-3	100
Aromáticos EC12-EC16	1,0E-3	>290	4,3E-3	230
Aromáticos EC16-EC21	2,9E-4	>100	1,2E-3	>100
Aromáticos EC21-EC35	3,5E-2	>8,3	1,5E-1	6,8
Suma	3,9E-2		1,6E-1	
Inhalación vapores espacios cerrados (intrusión vapores)				
Aromáticos EC10-EC12	4,5E-3	220	7,8E-2	13
Aromáticos EC12-EC16	8,6E-4	>290	1,5E-2	67
Aromáticos EC16-EC21	7,1E-5	>100	1,2E-3	>100
Aromáticos EC21-EC35	6,6E-4	>8,3	1,1E-2	>8,3
Suma	6,1E-3		1,1E-1	

Resumiendo, sobre la propuesta anterior, se recomienda lo siguiente:

1. Aplicar la RfC del naftaleno a la fracción aromática >EC10-EC21, tanto para la inhalación de volátiles como de partículas.
2. El valor RfC del benzo(a)pireno se aplicaría a la fracción aromática >EC21-EC35, la cual se considera no volátil, pero que sí intervendría en la vía de inhalación de partículas.
3. Comunicar cambio a las entidades responsables de elaboración ACR e incluir modificación en próxima edición de DRCS-03



4. Referencias

Archibong, AE; Inyang, F; Ramesh, A; Greenwood, M; Nayyar, T; Kopsombut, P; Hood, DB; Nyanda, AM. (2002). Alteration of pregnancy related hormones and fetal survival in F-344 rats exposed by inhalation to benzo(a)pyrene. *Reprod Toxicol* 16: 801-808.

Archibong, AE; Ramesh, A; Inyang, F; Niaz, MS; Hood, DB; Kopsombut, P. (2012). Endocrine disruptive actions of inhaled benzo(a)pyrene on ovarian function and fetal survival in fisher F-344 adult rats. *Reprod Toxicol* 34: 635-643.

Archibong, AE; Ramesh, A; Niaz, MS; Brooks, CM; Roberson, SI; Lunstra, DD. (2008). Effects of benzo(a)pyrene on intra-testicular function in F-344 rats. *Int J Environ Res Public Health* 5: 32-40.

Crepeaux, G; Grova, N; Bouillaud-Kremarik, P; Sikhayeva, N; Salquebre, G; Rychen, G; Soulimani, R; Appenzeller, B; Schroeder, H. (2014). Short-term effects of a perinatal exposure to a 16 polycyclic aromatic hydrocarbon mixture in rats: Assessment of early motor and sensorial development and cerebral cytochrome oxidase activity in pups. *Neurotoxicology* 43: 90-101.

Crepeaux, G; Bouillaud-Kremarik, P; Sikhayeva, N; Rychen, G; Soulimani, R; Schroeder, H. (2012). Late effects of a perinatal exposure to a 16 PAH mixture: Increase of anxiety-related behaviours and decrease of regional brain metabolism in adult male rats. *Toxicol Lett* 211: 105-113.

Crepeaux, G; Bouillaud-Kremarik, P; Sikhayeva, N; Rychen, G; Soulimani, R; Schroeder, H. (2013). Exclusive prenatal exposure to a 16 PAH mixture does not impact anxiety-related behaviours and regional brain metabolism in adult male rats: A role for the period of exposure in the modulation of PAH neurotoxicity. *Toxicol Lett* 221: 40-46.

Chu, S; Zhang, H; Maher, C; McDonald, JD; Zhang, X; Ho, SM; Yan, B; Chillrud, S; Perera, F; Factor, P; Miller, RL. (2013). Prenatal and postnatal polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, airway hyperreactivity, and beta-2 adrenergic receptor function in sensitized mouse offspring. *J Toxicol* 2013: 603581.

Yan, Z; Zhang, H; Maher, C; Arteaga-Solis, E; Champagne, FA; Wu, L; McDonald, JD; Yan, B; Schwartz, GJ; Miller, RL. (2014). Prenatal polycyclic aromatic hydrocarbon, adiposity, peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) γ methylation in offspring, grand-offspring mice. *PLoS ONE* 9: e110706.

Slotkin, TA; Skavicus, S; Card, J; Giulio, RT; Seidler, FJ. (2017). In vitro models reveal differences in the developmental neurotoxicity of an environmental polycyclic aromatic hydrocarbon mixture compared to benzo[a]pyrene: Neuronotypic PC12 Cells and embryonic neural stem cells. *Toxicology* 377: 49-56.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2017). Toxicological review of benzo[a]pyrene (CASRN 50-32-8): Supplemental information [EPA Report]. (EPA635R17003Fb). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2022c). Provisional peer-reviewed toxicity values for the aromatic high carbon range TPH fraction noncancer assessment (CASRN various) [EPA Report]. Cincinnati, OH.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 25/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2jmMA3HXUFVZNXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2022). Provisional peer-reviewed toxicity values for complex mixtures of aliphatic and aromatic hydrocarbons (CASRN various) [EPA Report]. Cincinnati, OH.

Weyand, EH; Parimoo, B; Reuhl, KR; Goldstein, LS; Wang, JQ; Harvey, RG. (2004). 7H-benzo[c]fluorene: A potent systemic lung carcinogen. Polycycl Aromat Compd 24: 1-20.

En Sevilla,

Elaborado por: Andrés Jiménez Ocaña, Área de Servicios Ambientales

VºBº de: Carmen Moreno Castro, Jefa del Área de Servicios Ambientales

VALORACIÓN CONSULTAS RfC fracción TPH aromática pesada EPA PPRTV 2022
RfC_ AROM_PESADAS_Rev1
Ref: AJO

Página 26 de 31

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 26/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



ANEXOS

VALORACIÓN CONSULTAS RfC fracción TPH aromática pesada EPA PPRTV 2022
RfC_AROM_PESADAS_Rev1
Ref: AJO

Página 27 de 31

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 27/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUJFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Contenidos medios de algunos compuestos aromáticos pesados en diferentes mezclas comerciales de hidrocarburos (porcentaje en peso sobre el total)

	Gasolina	Queroseno	JP-4	JP-5	JP-7	JP-8	Diesel	No2 Fuel	No6 Fuel	Acetite motor	Petróleo crudo
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Naftaleno (EC 11,57)	0,25	0,31	0,25	0,57	0,72	1,1	0,26	0,22	4,2E-3	0,059	0,069
1-Metinaftaleno (EC 12,77)	0,07	0,54	0,041	1,4	0,044	1,8	0,48	0,39		0,003	0,13
2-Metinaftaleno (EC 12,72)	0,18	1,1	0,14	1,4	0,1	1,5	0,89	0,68			0,26
Total Naftalenos	5,8						3,1	10	0,098	3,2	
Acenafteno (EC 14,76)		4,7E-3						0,018			5,7E-3
Total Acenaftenos							1,9	2,1			
Acenaftileno (EC 14,82)		4,5E-3						6,0E-3			1,3E-3
Total Acenaftilenos							1,5				
Fenantreno (EC 18,37)		0,058					0,088	0,079	0,021	7,9E-3	0,024
Total Fenantrenos							0,31	0,67	0,066	3,7	
Antraceno (EC 18,43)		1,2E-4					5,8E-3	2,8E-3	5,0E-3	2,2E-3	1,1E-3
Pireno (EC 22,45)		2,4E-4					4,6E-3	2,9E-3	2,3E-3	0,01	7,9E-4
Fluoranteno (EC 21,11)		8,6E-4					5,9E-3	1,4E-3	0,018	3,8E-3	3,9E-4
Benzo(a)antraceno (EC 25,27)							9,6E-5	4,5E-5	0,055	6,3E-3	3,2E-4
Benzo(a)pireno (EC 29,25)							2,2E-4	2,1E-5	4,4E-3	1,7E-3	2,4E-4
Benzo(ghi)perileno (EC 30,37)							1,2E-5	5,7E-6		2,8E-3	3,3E-4

Fuente: Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (TPHCWG) Series. Volumen 2: Composition of Petroleum Mixtures. 1998

XXXXX Contenidos más significativos (orden de magnitud 1-10%)

XXXXX

Contenidos significativos (orden de magnitud 0,1-1%)

XXXX

Contenidos menos significativos (orden de magnitud 0,01-0,1%)



APPENDIX B. COMPOSITION OF MIXTURES RELEVANT TO THE AROMATIC HIGH CARBON RANGE FRACTION

Table B-1 lists information on the 21-PAH mixture composition for the [Weyand et al. \(2004\)](#) oral carcinogenicity study. The composition of the 16-PAH mixture in the [Crepeaux et al. \(2014, 2013, 2012\)](#) oral neurodevelopmental toxicity studies is shown in Table B-2. Information on the composition of the 9-PAH mixture in the [Yan et al. \(2014\)](#) and [Chu et al. \(2013\)](#) inhalation developmental studies is provided in Table B-3.

Table B-1. Composition of PAH Mixture Tested in Dietary Carcinogenesis Study (Limited Noncancer Endpoints) ^a							
Chemical	C	EC	Level in Diet (mg/kg food)	PAH Mix		PAH Mix with Benzo[c]fluorene	
				Dose (µg/mouse/d)	mg/Mouse over 260 d	Dose (µg/mouse/d)	mg/Mouse over 260 d
Indan	9	9.74	1.23	2.6	0.7	2.8	0.7
Naphthalene	10	11.57	80.8	170	43.7	186	48.7
2-Methylnaphthalene	11	12.72	26.8	56.2	14.5	61.5	16.1
1-Methylnaphthalene	11	12.77	14.2	29.7	7.7	32.5	8.5
Acenaphthylene	12	14.82	14.3	30	7.7	32.8	8.6
Acenaphthene	12	14.76	3.18	6.7	1.7	7.3	1.9
Dibenzofuran	12	13.24	4.53	9.5	2.4	10.4	2.7
Fluorene	13	15.68	11.9	25	6.5	27.4	7.2
Phenanthrene	14	18.37	25.3	53	13.7	58.1	15.2
Anthracene	14	18.43	7.25	15.2	3.9	16.7	4.4
Fluoranthene	16	21.11	15.9	33.4	8.6	36.6	9.6
Pyrene	16	22.45	18.1	37.9	9.8	41.5	10.9
Benz[a]anthracene	18	25.27	8.35	17.5	4.5	19.2	5
Chrysene	18	26.13	7.4	15.5	4	17	4.5
Benzo[b]fluoranthene	20	25.04	7.23	15.2	3.9	16.6	4.4
Benzo[k]fluoranthene	20	28.70	2.53	5.3	1.4	5.8	1.5
Benzo[a]pyrene	20	29.95	6.9	14.5	3.7	15.9	4.2
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	22	32.62	4.98	10.4	2.7	11.4	3
Dibenz[a,h]anthracene	22	32.45	0.93	1.9	0.5	2.1	0.6
Benzo[ghi]perylene	22	30.37	5.73	12	3.1	13.2	3.5
Benzo[c]fluorene	17	21.45	5.6	–	–	13.6	3.6
Sum				561.5	144.7	628.4	164.8

^a[Weyand et al. \(2004\)](#).

C = carbon; EC = equivalent carbon; PAH = polycyclic aromatic hydrocarbon.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 29/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	



Table B-2. Composition of 16-PAH Mixture Tested in Oral Neurodevelopmental Studies^a

CASRN	Name	Rings	C	EC	Percent in 16-PAH Mixture (%)	PAH Dose in Low-Dose Mixture (mg/kg-d)	PAH Dose in High-Dose Mixture (mg/kg-d)
91-20-3	Naphthalene	1	10	11.57	17	0.00034	0.034
208-96-8	Acenaphthylene	2	12	14.82	1.5	0.00003	0.003
83-32-9	Acenaphthene	2	12	14.76	10	0.0002	0.02
86-73-7	Fluorene	2	13	15.68	2.5	0.00005	0.005
85-01-8	Phenanthrene	3	14	18.37	25	0.0005	0.05
120-12-7	Anthracene	3	14	18.43	3.5	0.00007	0.007
129-00-0	Pyrene	4	16	22.45	8.5	0.00017	0.017
206-44-0	Fluoranthene	3	16	21.11	11.5	0.00023	0.023
218-01-9	Chrysene	4	18	26.13	4	0.00008	0.008
56-55-3	Benzo[<i>a</i>]anthracene	4	18	25.27	2	0.00004	0.004
205-99-2	Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	4	20	25.04	2.5	0.00005	0.005
207-08-9	Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	4	20	28.70	2	0.00004	0.004
50-32-8	Benzo[<i>a</i>]pyrene	4	20	29.95	2.5	0.00005	0.005
193-39-5	Indeno(1,2,3- <i>c,d</i>)pyrene	5	22	32.62	6	0.00012	0.012
53-70-3	Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene	5	22	32.45	0.5	0.00001	0.001
191-24-2	Benzo[<i>ghi</i>]perylene	6	22	30.37	1	0.00002	0.002
Sum/mixture dose						0.002	0.2

^a[Crepeaux et al. \(2014, 2013, 2012\).](#)



Table B-3. Composition of PAH Aerosol Mixture Tested in Inhalation Developmental Studies^a

CASRN	Name	Rings	C	EC	Percent in Mixture (%)	Mean Concentration (ng/m ³)	Mean Concentration (mg/m ³)
129-00-0	Pyrene	4	16	20.8	3.99	0.27	0.00027
218-01-9	Chrysene	4	18	26.13	5.13	0.42	0.00042
56-55-3	Benzo[<i>a</i>]anthracene	4	18	26.37	7.62	0.59	0.00059
205-99-2	Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	4	20	30.14	1.79	0.15	0.00015
207-08-9	Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	4	20	30.14	13.02	1.12	0.00112
50-32-8	Benzo[<i>a</i>]pyrene	4	20	31.34	4.82	0.35	0.00035
193-39-5	Indeno(1,2,3- <i>c,d</i>)pyrene	5	22	33.51	0.89	0.06	0.00006
53-70-3	Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene	5	22	33.92	7.42	0.64	0.00064
191-24-2	Benzo(<i>ghi</i>)perylene	6	22	34	54.59	3.69	0.00369
Sum/mixture concentration						7.29	0.00729

^a[Yan et al. \(2014\)](#); [Chu et al. \(2013\)](#).

C = carbon; EC = equivalent carbon; PAH = polycyclic aromatic hydrocarbon.

Nota: los valores EC de la tabla son erróneos salvo para el criseno. Ver EC correctos en tablas anteriores.

FIRMADO POR	CARMEN MORENO CASTRO		23/01/2024	PÁGINA 31/31
	ANDRES JIMENEZ OCAÑA			
VERIFICACIÓN	Pk2imMA3HXUFVZXNPFLKTWA8H6PPSK		https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma	