



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de la descontaminación del suelo en una estación de servicio de la Comunidad Valenciana

Memoria

Trabajo final de master

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Ambiental
Curso: 2016/17

Autor: Carlos Bodí Ibert
Tutor: Josep Ribes Bertomeu

Valencia, septiembre de 2017

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ABREVIATURA	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO DEBIDA A LOS HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO	2
1.2. COMPORTAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS HIDROCARBUROS EN EL SUELO.....	4
1.3. MARCO LEGISLATIVO	6
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	8
2. MATERIAL Y MÉTODOS	9
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	9
2.1.1. Localización.	9
2.1.2. Medio físico.....	10
2.1.3. Medio biológico.	15
2.2. MUESTREOS DEL SUELO.....	17
2.3. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO CONTAMINADO.....	21
3.1.1. Fase libre.	22
3.1.2. Distancia de la pluma.	24
3.2. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES: INTRODUCCIÓN DE DATOS 27	
3.2.1. Identificación de las rutas de exposición.....	27
3.2.2. Compuestos de interés (CDI) en la matriz del foco.	31
3.2.3. Opciones de modelos de transporte.....	32
3.2.4. Parámetros del suelo.....	35
3.2.5. Parámetros del agua subterránea.	39
3.2.6. Parámetros del aire.	43
3.3. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES: RESULTADOS	46
3.3.1. Diagrama de flujo con las rutas de exposición.	46
3.3.2. Parámetros químicos de los CDI.	46
3.3.3. Resumen de datos introducidos.....	47
3.3.4. Datos de los CDI especificados por el usuario.....	47
3.3.5. Análisis transitorio de Domenico.	48
3.3.6. Línea base de riesgos.....	56

3.3.7. Niveles de limpieza	61
3.4. SINOPSIS DE RESULTADOS	70
4. PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN	73
4.1. PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN... ..	73
4.2. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN	74
5. CONCLUSIONES.....	78
6. BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	83
ANEXO 1: Red piezométrica de la zona	85
ANEXO 2: Parámetros químicos de los compuestos de interés	103
ANEXO 3: Resumen de datos (CASO A)	107
ANEXO 4: Resumen de datos (CASO B).....	113
ANEXO 5: Análisis transitorio de Domenico (CASO A).....	118
ANEXO 6: Análisis transitorio de Domenico (CASO B).....	145
ANEXO 7: Línea base de riesgos (CASO B)	173
ANEXO 8: Línea base de riesgos (CASO B)	185

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Niveles genéricos de referencia para diferentes sustancias. Fuente: Pinedo, 2014.	3
Tabla 2. Concentración del foco del suelo.	18
Tabla 3. Concentración del foco del agua subterránea.	18
Tabla 4. Propiedades físicas de los contaminantes.	21
Tabla 5. Cálculo de la Fase Libre.	24
Tabla 6. Factor de retardo.	25
Tabla 7. Valores típicos de la conductividad hidráulica. Fuente: Coduto, 1999.	25
Tabla 8. Velocidad y distancia de la pluma.	27
Tabla 9. Concentraciones de los compuestos de interés.	31
Tabla 10. Rangos de pH. Fuente: Martínez, 2003.	38
Tabla 11. Valores de dispersividad para las ubicaciones fuera del sitio.	43
Tabla 12. Dispersión en aire.	44
Tabla 13. Media anual de velocidades en Alcàsser. Fuente: IDAE.	44
Tabla 14. Concentraciones representativas de CDI en los focos.	47
Tabla 15. Valores de vida media de los compuestos.	48
Tabla 16. Resumen del modelo de Domenico para suelos lixiviando a agua subterránea (Caso A).	48
Tabla 17. Resumen del modelo de Domenico para agua subterránea afectada (Caso A).	49
Tabla 18. Resumen del modelo de Domenico para suelos lixiviando a agua subterránea (Caso B).	56
Tabla 19. Resumen del modelo de Domenico para agua subterránea afectada (Caso B).	56
Tabla 20. Resumen de línea base de riesgos del Caso A.	57
Tabla 21. Efectos tóxicos para las rutas de exposición de aire interior (Caso A).	58
Tabla 22. Riesgo cancerígeno para las rutas de exposición a agua subterránea (Caso A).	58
Tabla 23. Efectos tóxicos para las rutas de exposición a agua subterránea (Caso A).	59
Tabla 24. Resumen de línea base de riesgos del Caso B.	60
Tabla 25. Efectos tóxicos para las rutas de exposición de aire interior (Caso B).	60
Tabla 26. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea (CASO A).	62
Tabla 27. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo (CASO A).	62
Tabla 28. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO A). Parte 1. ...	64
Tabla 29. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO A). Parte 2. ...	64
Tabla 30. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO A). Parte 1.	65
Tabla 31. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO A). Parte 2.	65
Tabla 32. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea (CASO B).	67
Tabla 33. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo (CASO B).	67
Tabla 34. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO B). Parte 1.	68
Tabla 35. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO B). Parte 2.	68
Tabla 36. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO B). Parte 1.	69
Tabla 37. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO B). Parte 2.	69
Tabla 38. Resumen con los niveles de limpieza en agua subterránea y en subsuelo del Caso A.	71
Tabla 39. Factores de reducción idóneos para alcanzar concentraciones aceptables en el Caso A.	72
Tabla 40. Resumen con los niveles de limpieza en agua subterránea y en subsuelo del Caso B.	72
Tabla 41. Factores de reducción idóneos para alcanzar concentraciones aceptables en el Caso B.	72

LISTADO DE IMAGENES

Imagen 1. Dispositivo ideal en las instalaciones. Fuente: Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori, 2011.	1
Imagen 2. Representación de las plumas de contaminación según LNAPL o DNAPL. Fuente: Rosales, 2013.	5
Imagen 3. Vista por satélite de la Península Ibérica y de la Provincia de Valencia. Fuente: Google Maps, 2017. Elaboración propia.	9
Imagen 4. Vista por satélite y vista a pie del entorno de la estación de servicio. Fuente: Google Maps, 2017.	10
Imagen 5. Zonas de la Comunidad Valenciana. Fuente: Rivera, 2012. Elaboración propia.	11
Imagen 6. Mapa geológico de la Comunidad Valenciana de la zona de Alcácer. Fuente: IGME, 2017. Elaboración propia.	12
Imagen 7. Litología de la zona que se aplica a Alcácer. Fuente: Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica.	13
Imagen 8. Localización de los piezómetros cercanos. Fuente: Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica.	14
Imagen 9. Tipos de suelos en España. Fuente: Hispagua.	15
Imagen 10. Pantalla principal.	19
Imagen 11. Identificación de las rutas de exposición.	28
Imagen 12. Factores de exposición y riesgo aceptable.	30
Imagen 13. Compuestos de interés en los focos.	31
Imagen 14. Opciones de modelos de transformación y transporte (Caso A).	32
Imagen 15. Opciones de modelos de transformación y transporte (Caso B).	34
Imagen 16. Vida media de los CDI.	35
Imagen 17. Parámetros del suelo.	36
Imagen 18. Parámetros del agua subterránea.	39
Imagen 19. Cotas, profundidad y distancias entre piezómetros de la zona. Fuente: Redes de seguimiento del Estado. Elaboración propia.	40
Imagen 20. Parámetros del aire.	43
Imagen 21. Diagrama de rutas de exposición.	46
Imagen 22. Sistema de bioventing por extracción de aire (izquierda) y por inyección de aire (derecha). Fuente: Guia de Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli.	75
Imagen 23. Biopila estática. Fuente: Guia de Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli.	77

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de riesgo en función de la concentración del suelo. Fuente: Pinedo, 2014.....	7
Figura 2. Esquema para el cálculo del gradiente hidráulico. Fuente: Elaboración propia.	40

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Actividades que causan contaminación del suelo. Fuente: Pinedo, 2014.	2
Gráfico 2. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).	50
Gráfico 3. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).	50
Gráfico 4. Concentración del benceno vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco)...	51
Gráfico 5. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).	51
Gráfico 6. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).	52
Gráfico 7. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).	52
Gráfico 8. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).	53
Gráfico 9. Concentración del benceno vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco)...	53
Gráfico 10. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).	54
Gráfico 11. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco)...	54
Gráfico 12. Concentración de la octanona vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años). .	55
Gráfico 13. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco)...	55

RESUMEN

La contaminación del suelo es uno de los problemas medioambientales que cada vez adquiere mayor relevancia, debido a la gran cantidad de actividades que pueden provocar daños irreversibles en el mismo. El presente trabajo final de máster se centra en la contaminación generada por fugas y derrames al suelo vinculados a las estaciones de servicio relacionadas con el almacenamiento, la distribución y la venta de combustibles. En concreto, se trabajará con un hipotético caso de contaminación en el municipio de Alcácer, en la provincia de Valencia.

Así pues, una gestión sostenible del suelo tras presentarse un problema precisa de un análisis de riesgos como herramienta para toma de decisiones en las actuaciones futuras. Con este fin, se usa el programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases para buscar las soluciones más económicas, tanto en coste como energía, invirtiendo los recursos económicos en los lugares de mayor riesgo. Del tratamiento de datos mediante el nombrado programa se obtuvo que era necesario aplicar factores de reducción a algunos de los contaminantes para minimizar el riesgo en el suelo y en el subsuelo.

Tras esto, se propuso un proceso de descontaminación que más se adaptaba a los resultados obtenidos tras el análisis de riesgos de la zona. Puesto que las concentraciones límites de riesgo se alcanzan en periodos de un siglo, hay tiempo suficiente para evaluar un enfoque de remediación alternativo que genere menos costes e impactos en su ejecución, siendo el método elegido el de bioremediación.

Palabras clave: RBCA, contaminación por hidrocarburos, análisis de riesgos, descontaminación del suelo y suelo contaminado.

ABSTRACT

The soil contamination is one of the environmental problems that is becoming increasingly relevant, due to the large diversity of activities that can cause irreversible damages. The present work focuses on the pollution generated by spills to the ground on account of the service stations related to the storage, distribution and sale of fuels. Specifically, we will work with a hypothetical case of pollution in the municipality of Alcácer, in the province of Valencia.

Therefore, after the appearance of a problem, a sustainable soil management precise of a risk analysis as a tool for decision making process in future actions. For that purpose, the RBCA Tool Kit for Chemical Releases program is used to find the most economical solutions in cost and energy, investing the economic resources in the places who have high risk. From the data processing through this program, it was obtained that it was necessary to apply reduction factors to some of the pollutants to minimize the risk in the soil and in the subsoil.

After this, it was proposed a decontamination process that was more adapted to the results obtained after the risk analysis of the area. Since limiting concentrations of risk are reached in periods longer than one century, there is enough time to evaluate an alternative remediation that generates less costs and impacts in its execution, being the method chosen the bioremediation.

Key words: RBCA, hydrocarbon pollution, risk analysis, soil decontamination and contaminated soil.

ABREVIATURA

ADF	Factor de Dispersión en aire
ASTM	American Society for Testing and Materials
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno
CDI	Compuestos de Interés
COV	Compuesto Orgánico Volátil
CRF	Factor de Reducción del Compuesto
DAF	Factor de Atenuación por Dilución
DMAH	Departament de Medi Ambient i Habitatge
DNAPL	Líquidos Densos en Fase No Acuosa
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
LF	Factor de Lixiviación
LNAPL	Líquidos Ligeros en Fase No Acuosa
MTBE	Metil t-butil éter
NAPL	Líquidos en Fase No Acuosa
NGR	Nivel Genérico de Referencia
PAH	Hidrocarburo Aromático Policíclico
RBCA	Acción Correctiva con Base en Riesgo
RBSL	Nivel de Evaluación con Base en Riesgo
SAM	Modelo de Atenuación de Suelos
SSTL	Nivel Meta Específico del Sitio
TPH	Hidrocarburos Totales del Petróleo
USCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
USDA	United States Department of Agriculture
VF	Factor de Volatilización

1. INTRODUCCIÓN

Se considera suelo contaminado aquél cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente (Pinedo, 2014).

La contaminación del suelo es uno de los problemas medioambientales que cada vez adquiere una mayor relevancia en la sociedad debido a las grandes pérdidas que esto ocasiona, tanto económicas, por los costes de limpieza, como de sociales, por la degradación de suelos y aguas subterráneas (DMAH, 2005). De esta forma, las actividades de venta de carburantes para la automoción, con numerosas instalaciones ampliamente distribuidas, están clasificadas como actividades potencialmente contaminantes del suelo en el anexo I del R.D. 9/2005 (junto con los hidrocarburos derivados del petróleo que manipulan) según sus características de toxicidad, persistencia o bioacumulación (Solanas & Riera, 2009).

Los derrames de estos hidrocarburos, por un inadecuado almacenamiento o malas prácticas en la dispensación, pueden provocar una contaminación ampliamente extensa en el suelo y que, habitualmente, no se detecta hasta que la contaminación ha migrado hasta afectar a terceros (como por ejemplo por la contaminación del agua de un pozo, por olores en casa vecinas, etc.). Dicha contaminación genera graves problemas medioambientales y de salud pública que desarrollan la necesidad de estudiar, analizar y evaluar los suelos y acuíferos que presenten contaminación para evitar o recuperar la contaminación por hidrocarburos del petróleo (Rosales, 2013). Utilizando si es necesario un método de descontaminación que se adapte al caso en concreto, buscando así la mejor calidad posible del suelo y de las aguas subterráneas.

Además de esto, es recomendable el uso de medidas preventivas, como, por ejemplo, mejorar los sistemas de las instalaciones que dificulten al máximo la posibilidad de que se produzca la contaminación en el medio, siendo el dispositivo ideal el de la Imagen 1 (incluye tanque de doble pared, cubeto que abarca toda la instalación y pozo de registro).

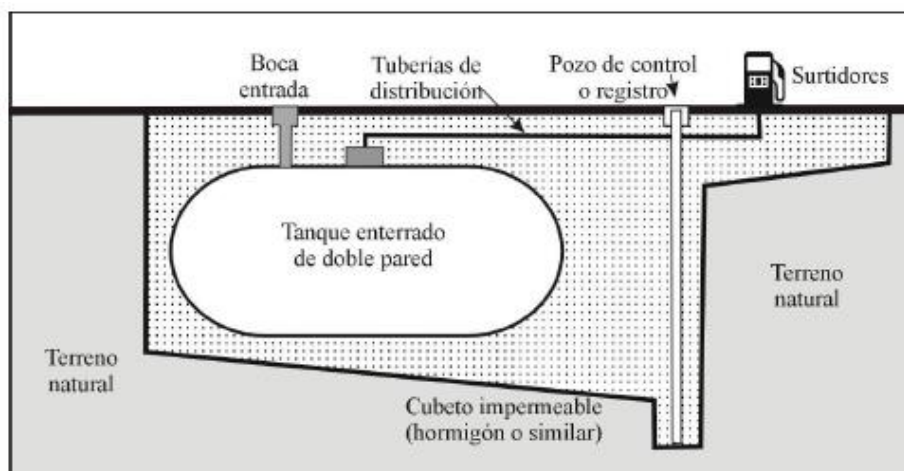


Imagen 1. Dispositivo ideal en las instalaciones. Fuente: Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori, 2011.

Actualmente hay un marco normativo desarrollado que vela por la protección del suelo. Especialmente la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (que deroga la Ley 10/1998, de residuos); el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados; la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de responsabilidad medioambiental, y la Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

1.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO DEBIDA A LOS HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO

Las actividades de producción, transporte y distribución de combustibles fósiles dan lugar a emplazamientos definidos, con la posibilidad de un alto nivel de contaminación en estas zonas (Lladó, 2012), ya que la industria del petróleo supone el 17% de las numerosas actividades antropogénicas que pueden generar contaminación de los suelos (Pinedo, 2014) tal y como se observa en el siguiente gráfico.



Gráfico 1. Actividades que causan contaminación del suelo. Fuente: Pinedo, 2014.

Un ejemplo de contaminación por la actividad de producción incluye tareas como perforación, bombeo, transporte, almacenamiento y refinado a gran escala, que pueden dar lugar a enormes fugas de hidrocarburos al medioambiente (Pinedo, 2014). Los hidrocarburos derivados del petróleo son sustancias orgánicas sintéticas que pueden provocar efectos dañinos en la biosfera y en los seres humanos si se contaminan recursos primarios como el suelo, las aguas superficiales o subterráneas debido a fugas en tanques de combustible o a un mal manejo en las estaciones de servicio, provocando la contaminación por presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), hidrocarburos aromáticos (BTEX) e hidrocarburos alifáticos provenientes de la gasolina y diésel, entre otros más secundarios.

Siendo los BTEX los contaminantes orgánicos más comunes en las fugas de gasolina y los más preocupantes desde el punto de vista de su toxicidad, que es la capacidad de causar efectos adversos como cambios fisiológicos, reproductivos, comportamiento o la muerte (Rosales, 2013), los cuales son clasificados como compuestos orgánicos volátiles (COVs). De acuerdo al Real Decreto 117/2003, son COVs todos aquellos compuestos orgánicos que tengan a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.

La evaluación de los riesgos para la salud humana y los ecosistemas requiere de una adecuada comprensión de esta toxicidad que presentan los contaminantes. Los efectos provenientes de la exposición a los hidrocarburos dependen de muchos factores como las propiedades químicas, el tiempo de exposición al compuesto o el volumen del mismo con el que se entra en contacto. Estos abarcan desde efectos al organismo al completo (como problemas neurológicos) hasta efectos en órganos específicos, añadiendo riesgos de efectos teratogénicos, mutagénicos y cancerígenos.

Esta preocupación por la contaminación por hidrocarburos ha generado un movimiento de implantación de valores límite en el suelo. La Tabla 1 recoge los niveles genéricos de referencia (NGR) españoles, que establecen la necesidad de realizar un análisis de riesgo, para varias sustancias presentes en los hidrocarburos del petróleo (Pinedo, 2014), siendo: hidrocarburos totales de petróleo (según el R.D. 9/2005, el término de TPH se utiliza para describir una familia de varios cientos de compuestos procedentes del petróleo), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) e hidrocarburos aromáticos (BTEX).

Tabla 1. Niveles genéricos de referencia para diferentes sustancias. Fuente: Pinedo, 2014.

	TPH	PAH	B	T	E	X
NGR (mg/kg)	50	-	0,1	3	2	35

Como se puede observar en esta tabla, estarán sujetos a una valoración de riesgos aquellas zonas que presenten concentraciones de TPH superiores a 50 mg/kg, concentraciones superiores de 0,1 mg/kg de benceno, concentraciones superiores de 3 mg/kg de tolueno, concentraciones superiores de 2 mg/kg de etilbenceno y concentraciones superiores de 35 mg/kg de xileno. Cuando se generan situaciones donde las concentraciones superen las mencionadas se sospecha que es debida a actividad antropogénica, y que dicha concentración anormal lleva asociado un problema de contaminación del suelo que solo podrá ser confirmada o desmentida tras una valoración de riesgos (Rosales, 2013).

Sin embargo, la Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados, establece un criterio en el que se declara directamente un suelo contaminado siempre que el valor de TPH sea superior a 5000 mg/Kg, a excepción de que una valoración de riesgos o bioensayos demuestren lo contrario.

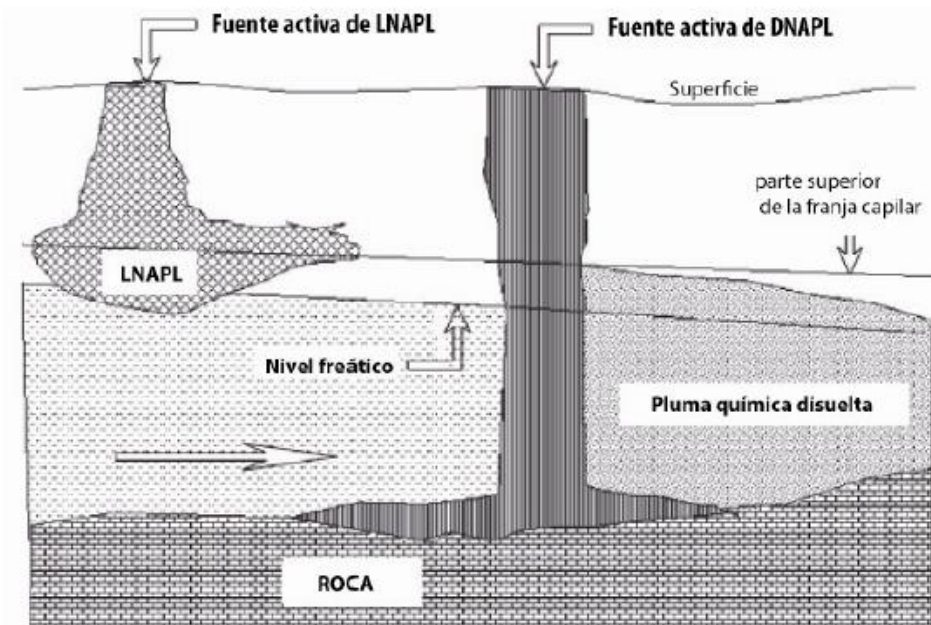
1.2. COMPORTAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS HIDROCARBUROS EN EL SUELO

De acuerdo con la Guía de Bioremediació de sols contaminats per hidrocarburs del petroli de la Agència de Residus de Catalunya, cuando un hidrocarburo llega al suelo se puede distribuir en fase sólida, acuosa, gaseosa y biota, en función de las características fisicoquímicas del contaminante, de los parámetros del suelo y de las condiciones ambientales. Además, si el contaminante se transporta en profundidad y llega al nivel freático, la contaminación del suelo deriva en contaminación de aguas subterráneas.

En cuanto a las características del contaminante que afectan en la distribución que se ha nombrado, se distingue entre solubilidad, presión de vapor, número y tipos de grupos funcionales, polaridad, densidad, coeficientes de partición (K_{ow} y K_{oc}), electronegatividad y hidrofobicidad. Por otra parte, los parámetros del suelo son el contenido y retención de agua, la porosidad, densidad y permeabilidad, el contenido de arcilla y de materia orgánica, la granulometría, la estructura, el grado de compactación, el pH y la profundidad del nivel freático. Por último, las condiciones ambientales que afectan a la distribución son la temperatura la precipitación y la evapotranspiración.

Además de esto, existe otra clasificación para el estudio del comportamiento de hidrocarburos en el subsuelo que es ampliamente utilizada: la definida por el parámetro NAPL (*Light Non-aqueous Phase Liquid*), un grupo de sustancias orgánicas, clasificadas en dos grupos según sus propiedades (Imagen 2), que son relativamente insolubles en agua (Rosales, 2013).

- LNAPL (*Light Non Aqueous Phase Liquid*): aquellos cuya densidad es menor a la del agua. Los LNAPL flotan sobre el nivel freático del acuífero diferenciándose en fase volátil, que ocupa parte de la zona vadosa y puede incorporarse al flujo subterráneo, fase libre, que circula en la parte superior del acuífero, y fase soluble, que formará una pluma en la parte superior de la zona saturada (Gordón & Shiguango, 2012).
- DNAPL (*Dense Non Aqueous Phase Liquid*): aquellos cuya densidad es mayor a la del agua, siendo relativamente insolubles en esta. Los DNAPL penetran rápidamente dentro del acuífero al tener una viscosidad muy pequeña, se degradan lentamente, penetran dentro de la zona saturada y tienden a moverse verticalmente a través de arena y grava hasta las capas subyacentes.



*Imagen 2. Representación de las plumas de contaminación según LNAPL o DNAPL.
Fuente: Rosales, 2013.*

Por tanto, los contaminantes se dispersan gradualmente a partir de un punto inicial en el cual se va introduciendo el contaminante y ocupa, con el tiempo, mayor volumen y alcance mediante procesos advectivos y de dispersión hidrodinámica. Paralelamente, el contaminante sufre multitud de procesos físicos, químicos y biológicos que afectan su destino en el subsuelo y el envejecimiento al medio, pudiendo retardar el movimiento del contaminante sin disminuir su concentración: son procesos de evaporación, disolución, dispersión, emulsión, reacciones químicas, bioacumulación, adsorción, sedimentación, biodegradación y fotooxidación (Solanas & Riera, 2009).

De estos procesos mencionados en el párrafo anterior se diferencia entre:

- Los que suponen una eliminación real del contaminante ya que lo transforman y, en algunos casos, lo mineralizan a anhídrido carbónico y agua (biodegradación, reacciones químicas y fotooxidación)
- Los que, a la vez, pueden alterar el estado físico del hidrocarburo, de manera que favorecen o limitan su degradación (resto de procesos).

Así pues, el destino de los contaminantes será el resultado de todos estos procesos, de las condiciones del entorno (ya que, por ejemplo, si el contenido en arcilla del suelo es alto, más persistente será el contaminante debido a que habrá una mayor adsorción de los contaminantes), de la cantidad de contaminante, de la vía de entrada en el suelo y del tiempo desde el inicio de la introducción de contaminación.

1.3. MARCO LEGISLATIVO

El suelo es uno de los medios en que al recibir contaminación muestran mayor grado de sensibilidad y vulnerabilidad, siendo de vital importancia establecer una serie de normas para implantar límites al uso indebido de este (Pinedo, 2014). De esta forma, existe normativa en referencia a suelos contaminados a nivel europeo, nacional y autonómico.

La escasa eficacia en tema de protección del suelo a lo largo de muchos años ha llevado a la Unión Europea a establecer una serie de Directivas en el marco legislativo a nivel europeo con el fin de preservar y proteger el suelo. Estas son:

- Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación. Esta Directiva tiene por objeto la prevención y la reducción integradas de la contaminación procedente de las actividades que figuran en el Anexo I de la misma. En ella se establecen medidas para evitar o cuando ello no sea posible, reducir las emisiones de las citadas actividades en la atmósfera, el agua y el suelo, incluidas las medidas relativas a los residuos, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto, sin perjuicio de las disposiciones de la Directiva 85/337/CEE, y de las otras disposiciones comunitarias en la materia.
- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. Esta Directiva tiene por objeto establecer un marco de responsabilidad medioambiental, basado en el principio de «quien contamina paga», para la prevención y la reparación de los daños medioambientales.
- Directiva 2008/98/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008, sobre residuos los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Esta Directiva establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.

Por otra parte, en cuanto a la normativa nacional relativa a suelos contaminados en España, se encuentra la siguiente:

- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Dicha Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medioambiente y la salud de las personas.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Este real decreto tiene por objeto establecer una relación de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo, así como adoptar criterios y estándares para la declaración de suelos

contaminados, y establecer unos niveles genéricos de referencia (NGR) de las sustancias potencialmente contaminantes.

- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (que deroga la Ley 10/1998). Esta Ley tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Tiene asimismo como objeto regular el régimen jurídico de los suelos contaminados.

Además, tal como destaca Pinedo en su tesis doctoral “Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo”, en la legislación española se establecen diferentes niveles de riesgo en función de la concentración del suelo (Figura 1), son los siguientes:

- Si la concentración del suelo es menor al nivel genérico de referencia, el riesgo es aceptable y no es necesario realizar más análisis al suelo.
- Si la concentración del suelo es mayor que el nivel genérico de referencia, pero menor a cien veces el nivel genérico de referencia, existe un riesgo potencial para el que es preciso llevar a cabo un análisis de riesgo específico del emplazamiento.
- Si la concentración del suelo es mayor a cien veces el nivel genérico de referencia, se declara suelo contaminado y se realizaran las actuaciones oportunas para la recuperación de los mismos.



Figura 1. Niveles de riesgo en función de la concentración del suelo. Fuente: Pinedo, 2014.

Finalmente, el cuanto el marco legislativo a nivel autonómico, se nombra la Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana. Esta tiene por objeto, en el marco de las competencias de la Generalidad, establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos, así como la regulación de los suelos contaminados, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general es hacer un análisis de riesgos de un caso ficticio de contaminación en un área de servicio elegida de acuerdo a unos criterios de posición, proximidad a piezómetros y tipo de suelo, entre otros. Con el fin de proponer el mejor método de descontaminación de los contaminantes que presenten un mayor riesgo tras obtener los resultados del análisis.

Así pues, para poder cumplir este objetivo general del presente trabajo, se han abordado los objetivos específicos siguientes:

- Puesto que no se disponía de ningún caso real para desarrollar el estudio, el primer objetivo será establecer las sustancias contaminantes presentes y sus concentraciones en base a trabajos similares.
- Realizar todos los cálculos pertinentes a la caracterización del sitio para así determinar dónde está la pluma, cómo es de grande, velocidad de desplazamiento, etc.
- Hacer uso del programa RBCA Tool Kit For Chemical Releases para llevar a cabo un análisis cuantitativo de riesgos para conocer que contaminantes supondrán un problema y sobre los cuales habría que actuar.
- Proponer los mejores métodos de descontaminación para el tipo de contaminación presente.

De acuerdo a estos objetivos el trabajo se desarrolla en cuatro apartados: en el apartado segundo sobre material y métodos incluye la descripción de la zona de estudio, los muestreos del suelo y una breve introducción sobre el programa RBCA. En el tercer apartado de resultados y discusión se reúne la información sobre la caracterización del espacio contaminado y todo lo referente al uso del programa de análisis de riesgos, tras lo cual se elaborará un resumen de los análisis obtenidos. El apartado cuarto consta de las propuestas de reducción de la fuente de contaminación y de las técnicas de descontaminación seleccionadas. Finalmente, en el apartado cinco se resumen las conclusiones generales obtenidas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

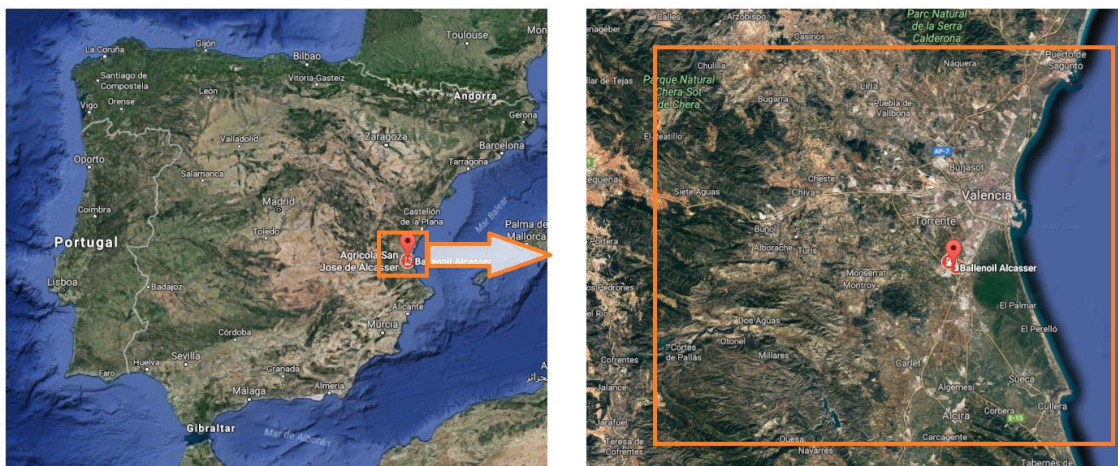
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el presente apartado se describe la zona de estudio con caracterización de la climatología, el ambiente, el sistema, la unidad morfodinámica, la geología, la topología, la geomorfología, la hidrología, la edafología, la unidad morfodinámica, la fauna y la vegetación predominante en el emplazamiento donde se desarrolla el estudio.

Es importante destacar que la geología, la hidrología y la edafología son puntos clave para la posterior interpretación de flujo de contaminante en el subsuelo y la posible afección de los acuíferos y aguas subterráneas.

2.1.1. Localización.

La estación de servicio, área de estudio del presente Trabajo Final de Máster, se ubica en España, concretamente en la provincia de Valencia en la Comunidad Valenciana, situada al este y sureste de la Península Ibérica (Imagen 3), en el litoral del mar Mediterráneo con el cual limita al este, así como con las provincias de Castellón y Teruel al norte, con Alicante al sur y con Cuenca y Albacete al oeste.



*Imagen 3. Vista por satélite de la Península Ibérica y de la Provincia de Valencia.
Fuente: Google Maps, 2017. Elaboración propia.*

La estación de servicio “Ballenoil” (Imagen 4), compañía perteneciente al Grupo Progeral, se sitúa en el Término Municipal de Alcácer, a las afueras de dicha localidad y anexa a la carretera CV-4152, con coordenadas 39°21'51.5"N 0°26'20.2"E. De acuerdo con la información obtenida de la página web del ayuntamiento de Alcácer, el término municipal tiene una extensión de 9,01 km² y se encuentra situado en la comarca de L'Horta Sud en un terreno plano junto con los barrancos de Picassent y del Realón.

Como se ha dicho, el municipio pertenece a la comarca de L'Horta Sud junto con los municipios de Alaquás, Alfafar, Benetússer, Beniparrell, Quart de Poblet, Xirivella, Llocnou de la Corona, Manises, Massanassa, Mislata, Paiporta, Picanya, Picassent, Sedaví y Silla.

Sus límites municipales son los siguientes: limita al norte con el de Torrent, a poniente y sur con el de Picassent y levante con los de Silla, Beniparrell, Albal y Catarroja.

Por último, destacar que la gasolinera se encuentra a 80 metros de una zona residencial (localizada al noroeste) y a 130 de una zona comercial (localizada a noreste), datos importantes para el posterior tratamiento de la zona mediante un programa de cálculo de riesgos por la presencia de compuestos químicos en el medio.



*Imagen 4. Vista por satélite y vista a pie del entorno de la estación de servicio.
Fuente: Google Maps, 2017.*

2.1.2. Medio físico.

La descripción del medio físico se ha realizado a partir del Mapa Geológico de España del Instituto Geológico y Minero de España, a partir del Mapa de Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrográfica del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, a partir del libro “Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización”, y a partir del estudio de paisaje del Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja (Valencia) de marzo de 2011, el cual debido a la proximidad de ambos municipios (sus términos municipales son colindantes) es de gran utilidad para la descripción del medio físico y biológico.

2.1.2.1. Climatología.

En la Comunidad Valenciana es evidente que, debido a la pequeña extensión del territorio, las diferencias climáticas entre zonas no serán demasiado marcadas. Aun así, la altitud, la configuración montañosa y la continentalidad generan ocho zonas (Imagen 5) dentro de este territorio, con características climáticas lo suficientemente diferenciadas para poder ser clasificadas.

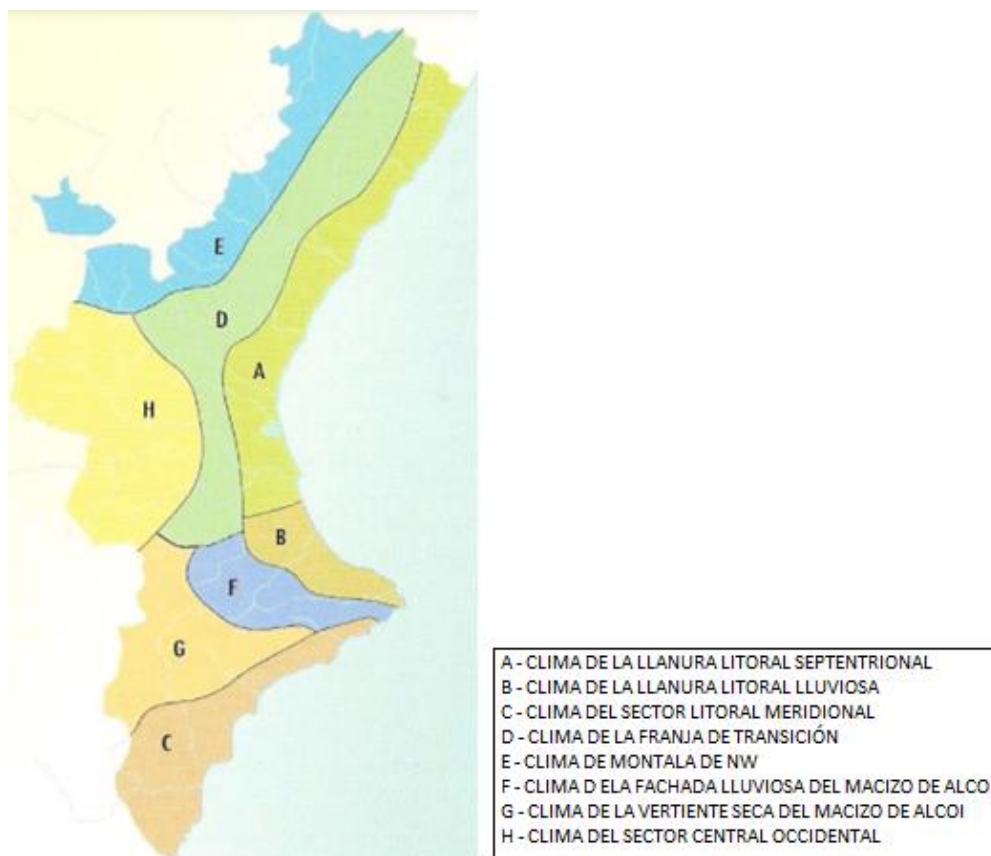
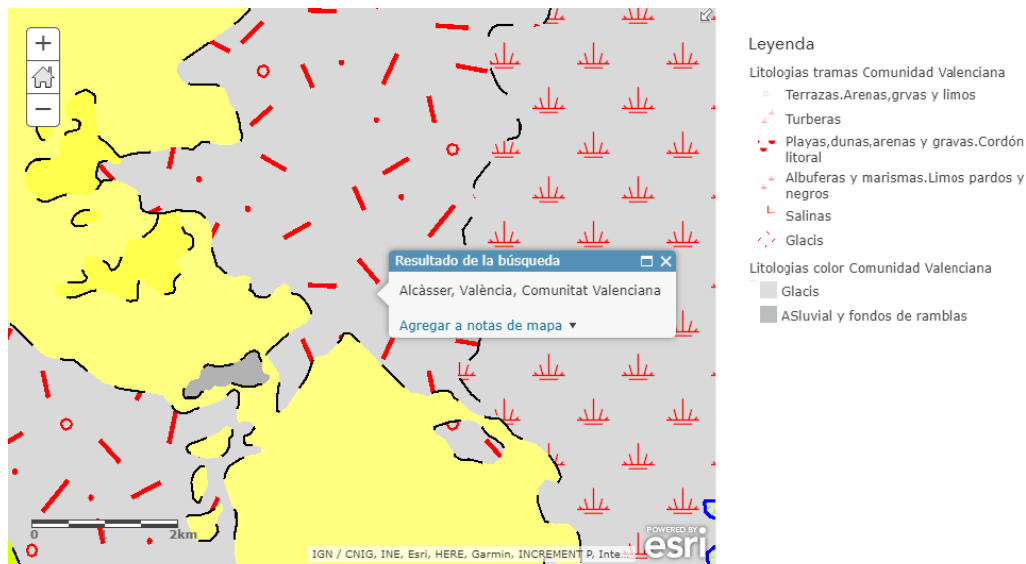


Imagen 5. Zonas de la Comunidad Valenciana. Fuente: Rivera, 2012. Elaboración propia.

Así pues, de acuerdo a la clasificación anterior, el Término Municipal de Alcácer se encuentra en el sector de “Clima de la llanura litoral septentrional”. Este sector se caracteriza por tener un máximo destacado de precipitaciones en octubre, escasas precipitaciones en primavera y un marcado periodo seco durante cuatro o cinco meses de verano, en especial debido a estas escasas precipitaciones de primavera. Las temperaturas son moderadas (la media anual se sitúa alrededor de los 16-18°C) y la oscilación térmica anual es escasa con unos inviernos suaves y veranos cálidos. De esta forma, se trata de un sector climático con un régimen de precipitaciones descompensado, con una notable suavidad térmica y con una elevada humedad relativa estival, producto de un régimen de brisas muy frecuente que suaviza las temperaturas (Rivera, 2012).

2.1.2.2. Ambiente, sistema y unidad morfológica.

Al consultar el mapa geológico de la Comunidad Valenciana del Instituto Geológico y Minero de España (Imagen 6) se observa que el término municipal de Alcácer se encuentra ubicado en el Ambiente de la Llanura Costera.



*Imagen 6. Mapa geológico de la Comunidad Valenciana de la zona de Alcácer.
Fuente: IGME, 2017. Elaboración propia.*

Este ambiente se caracteriza por ser una llanura adyacente a la costa formada, en esencia, por la acumulación de materiales de procedencia marina, eólica, y de ladera. En cuanto a la litología y la morfología se destaca:

- Litología: zona formada por materiales cuaternarios (compuesto esencialmente por limos, gravas, arcillas y arenas con depósitos de glaciares, piedemonte y superficies) de permeabilidad alta.
- Morfología: zona llana con pendientes comprendidas entre el 0 y 5 %, con conos aluviales y con glaciares.

El sistema que predomina es Aluvial-Coluvial, ya que se trata de una mezcla de los depósitos de materiales procedentes tanto del acarreo fluvial como de los derrubios de ladera, al darse ambos procesos simultáneamente.

2.1.2.3. Geología, topología y geomorfología.

Alcácer se extiende por una extensa llanura aluvial hundida desde el Mioceno, que se eleva progresivamente desde el mar Mediterráneo hacia los cerros del interior. En la zona este del término, la huerta y el marjal son los elementos más definitorios del paisaje; en la zona oeste del término predominan los huertos de naranjos que forman el paisaje agrario en la actualidad.

La zona tiene una forma plana con poca elevación sobre el mediterráneo, planicie interrumpida por algunas lomas de poca elevación. La altitud de la llanura valenciana disminuye hacia el sur, donde comienza la depresión ocupada por las aguas del lago de la Albufera.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, en base a características climáticas y morfoestructurales, se puede clasificar el municipio dentro del ambiente de la llanura costera formada por la acumulación de materiales de procedencia eólica, marina y de ladera. Y, en base a las características litológicas, se caracteriza por ser una zona formada por materiales cuaternarios del tipo de limos, gravas, arcillas y arenas (Imagen 7); y formada por materiales miocénicos del tipo de arcillas y limos. Por otra parte, la morfología de la zona es llana con pendientes comprendidas entre el 0 y el 5%, con conos aluviales y glacis.

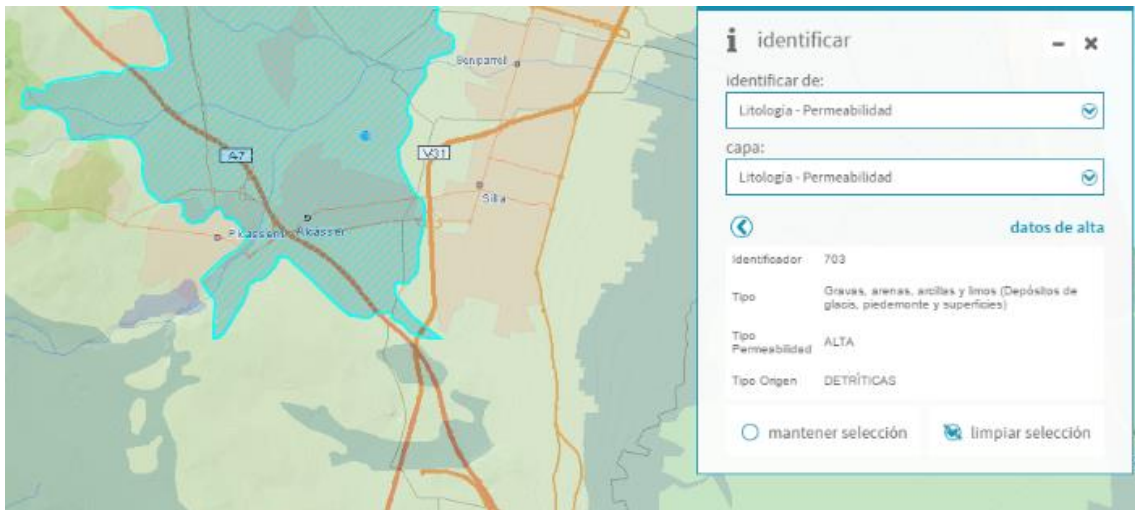


Imagen 7. Litología de la zona que se aplica a Alcácer. Fuente: Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica.

El sistema morfodinámico de Alcácer se engloba dentro de las zonas aluviales, en el que se agrupan los diferentes niveles de terrazas cuaternarias y los sedimentos que rellenan el lecho actual (de inundación y de estiaje) de los cursos fluviales de la provincia. Aparecen como plataformas escalonadas que descienden en dirección al cauce con pendientes en general muy suaves. Están caracterizadas por materiales detríticos muy variables, con predominio de las gravas, arenas y limos.

El cuaternario presenta especial interés dentro de la zona, por ocupar gran parte de ella y por la variedad de sus formaciones. Existen terrenos pertenecientes a los sistemas Holoceno y Pleistoceno. En conjunto se presenta como una dilatada llanura prelitoral ocupada en su mayor parte por La Albufera y sedimentos asociados y por las líneas de inundación del río Turia.

2.1.2.4. Hidrología.

La red hidrográfica de la Plana de Valencia es un sistema de 6.913 km² que está constituida por los ríos Turia, Júcar, Magro, Barranco de Carraixet y Rambla de Poyo. De acuerdo con López et al. en “Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana”, los dos primeros (el río Turia y el río Júcar) presentan escorrentía permanente y muestran

a lo largo de su recorrido un carácter efluente, en tanto que los tres restantes (Magro, Barranco de Carraixet y Rambla de Poyo) son ríos cortos que vierten directamente al mar, cuyos pequeños caudales en cabecera son aprovechados o se infiltran totalmente, a excepción de cuando se genera un periodo de lluvias persistentes, momento en el cual muestran escorrentía, que con frecuencia tiene carácter de extrema torrencialidad.

Por otra parte, el sistema acuífero de la Plana de Valencia es asimilable a un acuífero multicapa, en el que los tramos permeables se pueden agrupar en dos grandes conjuntos:

- Un tramo superior complejo, constituido por una alternancia de materiales detríticos cuaternarios, intercalados en una formación predominante limo-arcilloso y, localmente, calizas lacustres del Mioceno terminal, asimilable a una primera formación de resistividad comprendida entre 100 y 200 ohms.m. que alcanza un espesor máximo del orden de 200 m. en áreas adyacentes al río Turia, barranco de Carraixet y Torrente.
- Un tramo transmisivo inferior, constituido por intercalaciones bioclásticas, en una formación predominantemente margo-arcillosa, que alcanza hasta 660 m. de espesor en la vertical de Valencia, que simultáneamente hace de sustrato impermeable del nivel acuífero superior.

Finalmente, para completar la información obtenida de las aguas subterráneas se recopilarán los datos obtenidos del visor de Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica acerca de los piezómetros cercanos a la zona de estudio en el **ANEXO 1**. Estos datos serán de gran importancia una vez se inicie el análisis de riesgos con el RBCA, por lo que se reunirá la información de los cuatro piezómetros cercanos a Alcácer que se observan en la siguiente imagen, quedando marcados mediante puntos azules:



Imagen 8. Localización de los piezómetros cercanos. Fuente: Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica.

2.1.2.5. Edafología.

Para la descripción edáfica se ha utilizado la clasificación de la Soil Taxonomy, establecida por el Soil Survey Staff de Estados Unidos (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. USDA), la cual se basa en las características morfométricas y clasifica los suelos en 10 órdenes, 47 subórdenes, 225 grupos y 970 subgrupos.

Según el mapa de suelos de España (Imagen 9) se puede clasificar el suelo presente en Alcácer como Entisoles. Este orden incluye suelos muy jóvenes formados sobre materiales difíciles de alterar o depositados recientemente. Ocupan aproximadamente el 20% del territorio de la península y se asientan preferente en cotas altas, en zonas planas de la costa mediterránea (donde se desarrolla una agricultura productiva con frecuencia de regadío) y en valles de ríos (donde se han desarrollado regadíos tradicionales).



Imagen 9. Tipos de suelos en España. Fuente: Hispagua.

2.1.3. Medio biológico.

2.1.3.1. Vegetación.

En el término municipal de Alcácer predominan los cultivos de cítricos, huerta y arrozales. Se trata de cultivos que buscan el aprovechamiento agrícola y que precisan un riego continuo para su mantenimiento. De acuerdo a las zonas según se instalen, se diferencia entre cítricos (se localizan en zonas litorales libres de heladas tardías) y arrozales (se localizan en zonas húmedas en las que antiguamente se desarrollaba vegetación propia de marjal).

Por otra parte, se puede obtener un listado de las especies del Reino Plantae predominantes en el término mediante el Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunidad Valenciana. Se distingue:

- *Agave americana*
- *Amaranthus spinosus*
- *Borago officinalis*
- *Chenopodium ambrosioides*
- *Chloris gayana*
- *Crataegus azarolus*
- *Dittrichia viscosa*
- *Hirschfeldia incana*
- *Hymenolobus procumbens* ssp. *Procumbens*
- *Inula crithmoides*
- *Iris pseudacorus*
- *Kalanchoe daigremontiana*
- *Lactuca virosa*
- *Lamium amplexicaule*
- *Lepidium graminifolium*
- *Leucaena leucocephala*
- *Lythrum salicaria*
- *Malva parviflora*
- *Oenothera rosea*
- *Olea europea*
- *Opuntia ficus-indica*
- *Oxalis pes-caprae*
- *Papaver pinnatifidum*
- *Parapholis incurva*
- *Passiflora caerulea*
- *Phalaris aquatica*
- *Phalaris stenoptera*
- *Piptatherum miliaceum*
- *Polycarpon tetraphyllum*
- *Polygonum aviculare*
- *Polygonum lapathifolium*
- *Ranunculus peltatus* ssp. *Baudotii*
- *Ranunculus sceleratus*
- *Ranunculus trichophyllus*
- *Rhamnus lycioides* ssp. *Lycioides*
- *Ricinus communis*
- *Rosa pouzinii*
- *Rumex pulcher*
- *Sagina marítima*
- *Salvia verbenaca*
- *Scirpus holoschoenus*
- *Scrophularia auriculata* ssp. *Valentina*
- *Senecio cineraria*
- *Senecio vulgaris*
- *Sisymbrium orientale*
- *Solanum elaeagnifolium*
- *Solanum rostratum*
- *Sonchus tenerrimus*
- *Spergularia nicaeensis*
- *Stellaria media* ssp. *Media*
- *Stipa capensis*
- *Thelypteris palustris*
- *Thlaspi arvense*
- *Urtica membranacea*
- *Urtica urens*
- *Veronica pérsica*
- *Vicia sativa*

2.1.3.2. Fauna.

El estado de conservación en que se encuentren las comunidades faunísticas y su importancia ecológica son, junto con otros parámetros como la vegetación, la orografía, los suelos, el clima, etc., los elementos que permitirán caracterizar de forma adecuada la zona y valorar su importancia, su estado actual y sus perspectivas de evolución. Y de esta forma conocer el estado de conservación o degradación de los diferentes biotopos que integran el medio natural.

Por otra parte, se puede obtener un listado de las especies del Reino Animalia predominantes en el término mediante el Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunidad Valenciana. Se distingue:

- *Apodemus sylvaticus*
- *Apus apus*
- *Athene noctua*
- *Bubulcus ibis*
- *Cacyreus marshalli*
- *Carduelis carduelis*
- *Carduelis chloris*
- *Ceratitis capitata*
- *Cisticola juncidis*
- *Columba livia*
- *Columba palumbus*
- *Cuculus canorus*
- *Delichon urbicum*
- *Falco tinnunculus*
- *Gryllotalpa gryllotalpa*
- *Hirundo rustica*
- *Motacilla alba*
- *Mustela nivalis*
- *Myotis daubentonii*
- *Parus major*
- *Passer domesticus*
- *Passer montanus*
- *Pica pica*
- *Pipistrellus pipistrellus*
- *Pyralis farinalis*
- *Rhinechis scalaris*
- *Serinus serinus*
- *Sibinia seducta*
- *Streptopelia decaocto*
- *Streptopelia turtur*
- *Sturnus unicolor*
- *Sylvia melanocephala*
- *Turdus merula*
- *Upupa epops*
- *Vulpes vulpes*

2.2. MUESTREOS DEL SUELO

Previo a la exposición de los pasos llevados a cabo para realizar los muestreos y de la exposición de las concentraciones obtenidas, se debe recordar que se trata de un caso ficticio de contaminación en una gasolinera elegida de acuerdo a las condiciones que eran más interesantes para el desarrollo del estudio, decidiendo de la misma forma que el supuesto vertido ocurrió hace 10 años con el fin de que el margen de tiempo fuera el suficiente para presentarse ciertos riesgos para la salud humana. Por otra parte, las concentraciones usadas se basaron en estudios similares, donde se evaluaba la contaminación por hidrocarburos en un suelo, cuyos resultados fueron adaptadas a la zona objeto de estudio. En especial, el trabajo más relevante a la hora de realizar esta labor fue la tesis doctoral de Rosa M^a Rosales Aranda: “Detección y evaluación de la contaminación del suelo por taques enterrados de almacenamiento de hidrocarburos en estaciones de servicio”, ya que las estaciones estudiadas en ella son similares en tamaño y equipamiento a la de este trabajo.

Así pues, tomando el plan de muestreo de dicha tesis como modelo usado en este estudio con el fin de explicar cómo se llevaría a cabo, para el procedimiento en el que se realiza la toma de muestras en el área se debe tener en cuenta dos cosas previamente:

- Se deben tener los planos de las instalaciones subterráneas del área de estudio (situación de los depósitos de combustible, de las tuberías, etc.) para evitar daños en las mismas durante la toma de muestras.

- Previo a la toma de muestras se debe romper la solera de hormigón y asfalto del suelo debido a la urbanización alrededor de la estación de servicio.

Tras esto, se realizó un muestreo sistemático en profundidad, en tres puntos seleccionados ya que se trata de una gasolinera de pequeño tamaño, mediante sondeos mecánicos con extracción de testigo continuo en los que no se aplicó ningún tipo de aceite en la maquinaria para evitar la contaminación de las muestras. Estos puntos de sondeo se deciden tras analizar el terreno aplicando tomografía eléctrica para la detección de zonas anómalas en las que es posible la presencia de contaminación por fugas de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos. Finalmente, los testigos continuos hasta una profundidad de 15 metros obtenidos se almacenaron en cajas portatestigos para su transporte.

Una vez en el laboratorio se procedió al acondicionamiento de las muestras (secado a temperatura ambiente, tamizado, molienda del suelo tamizado y almacenamiento en bolsas de plástico herméticas) y a su posterior determinación en analítica. Tras los análisis y los tratamientos de resultados pertinentes se encontró la presencia de nueve contaminantes: n-hexano, naftaleno, octanona, tolueno, etilbenceno, o-xileno, benceno, metil t-butil éter y 1,2,4-trimetilbenceno. La concentración hallada se diferenciará entre concentración del foco del suelo (Tabla 2) y del foco del agua subterránea (Tabla 3) para cada componente.

Tabla 2. Concentración del foco del suelo.

Compuesto	Foco del suelo (mg/kg)
Hexano, n-	107,10 ± 1,08
Naftaleno	29,45 ± 0,92
Octanona	44,40 ± 0,73
Tolueno	17,05 ± 0,31
Etil benceno	17,45 ± 0,30
Xileno, o-	23,55 ± 0,40
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	131,35 ± 2,25
Benceno	8,53 ± 0,15
Metil t-butil éter (MTBE)	11,78 ± 0,20

Tabla 3. Concentración del foco del agua subterránea.

Compuesto	Foco del agua subterránea (mg/kg)
Hexano, n-	6,49 ± 0,30
Naftaleno	1,78 ± 0,17
Octanona	13,88 ± 1,15
Tolueno	5,33 ± 0,41
Etil benceno	1,06 ± 0,32
Xileno, o-	1,43 ± 0,29
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	7,96 ± 0,96
Benceno	2,66 ± 0,16
Metil t-butil éter (MTBE)	3,68 ± 0,43

2.3. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES

El software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases* es un paquete integral para la aplicación de modelos y caracterización de riesgos a sitios de descargas de compuestos químicos, diseñado para respaldar la aplicación de Acciones Correctivas Basadas en Riesgo (Risk-Based Corrective Action o RBCA). De esta forma, RBCA está enfocado para tratar riesgos posibles o reales asociados con la presencia de compuestos químicos de interés (CDI) en el medio ambiente (suelos, aguas subterráneas o aguas superficiales) debido al derrame de los mismos en el ambiente por actividades humanas, con el objetivo de proteger la salud humana y del ambiente mediante el fomento de la búsqueda de soluciones a un bajo costo y con ahorro energético para que los recursos económicos, los cuales a menudo son limitados, se inviertan en los sitios que presenten un nivel de riesgo mayor.

En la Imagen 10 está la pantalla principal, en ella se introduce la información del proyecto, se selecciona el tipo de análisis RBCA y los cálculos a realizar, además, desde este menú podemos acceder a las otras ventanas para rellenar datos y para acceder a los resultados obtenidos.

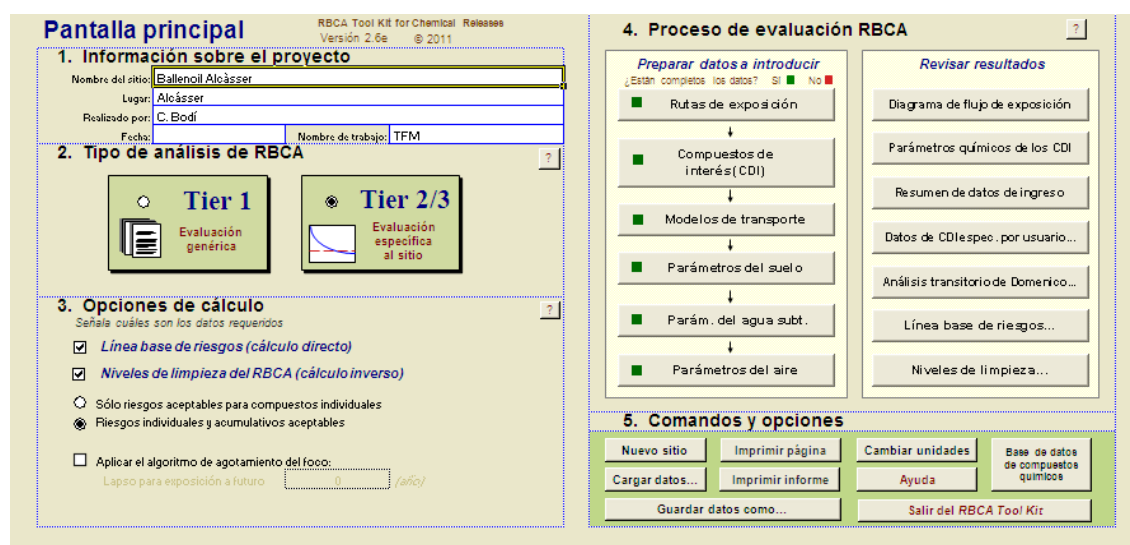


Imagen 10. Pantalla principal.

Se puede alternar, según las necesidades, entre realizar un análisis RBCA según el Tier 1 o un análisis según Tier 2/3, siendo este último el análisis seleccionado para el estudio, debido a que los análisis del Tier 2 permiten el uso de modelos de transporte para calcular los riesgos y los niveles de limpieza relacionados con los receptores fuera del sitio, a la vez que los análisis del Tier 3 permiten la posibilidad de efectuar un cálculo según RBCA, ya sea tomando en cuenta factores de atenuación natural o bien con mediciones específicas recolectadas en el sitio.

Por otra parte, se selecciona la opción del cálculo en modo directo para calcular la línea base de riesgos basándose en las concentraciones medidas de los compuestos de interés (CDI). Además, se establece la opción en modo a la inversa para hacer el cálculo a la inversa de los niveles de limpieza (es decir, nivel de evaluación con base en riesgo

(RBSL) para el Tier 1 o nivel aceptable de exposición para un sitio específico (SSTL) para el Tier 2/3) basados en los riesgos aceptables especificados por el usuario, para esta opción no se requieren las concentraciones de los CDI en la zona del foco, pero si se ingresan, el RBCA Tool Kit identificará los valores de concentración en el foco que excedan los niveles de limpieza aplicables.

Finalmente, se especifican las metas de riesgo tanto individual como acumulativo. Un riesgo “Individual” significa que la línea base de riesgos y los niveles de limpieza se calcularán según la exposición a cada uno de los compuestos de interés por separado, mientras que un riesgo “Acumulativo” significa que la línea base de riesgos y los niveles de limpieza se calcularán considerando los efectos acumulativos de la exposición a todos los compuestos de interés en conjunto.

Una vez elegidas estas primeras opciones del programa se procede al proceso de evaluación mediante el RBCA, el cual se explica en detalle en siguientes apartados. Sin embargo, cabe mencionar que se diferenciará entre dos casos (caso A y caso B) con el fin de observar los diferentes resultados del RBCA al estudiar dos alternativas de introducción de datos en las opciones de modelos de transporte:

- Una de ellas (Caso A) especificando que el factor de atenuación por dilución en aguas subterráneas se deriva mediante la ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación), de esta forma se estudia el caso más desfavorable en el que en el suelo objeto de estudio no se produzca ningún tipo de biodegradación.
- Y la otra (Caso B) derivándolo mediante ecuación de Domenico con degradación de primer orden, donde se deben especificar tasas de degradación de los distintos compuestos del suelo. Con esto se obtendría una reducción natural de los hidrocarburos derivados del petróleo en el suelo a lo largo del tiempo, ocasionado por una gran variedad de procesos físicos, como adsorción, dispersión, volatilización o difusión, procesos químicos, como reducción u oxidación o procesos biológicos, tanto de biodegradación anaeróbica como aeróbica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO CONTAMINADO

La caracterización del espacio es la fase más importante de cualquier proyecto de recuperación debido a que permite determinar la importancia de la contaminación dando respuesta a preguntas como: ¿dónde se esta la pluma de contaminación?, ¿qué materiales hay en la pluma? ¿cómo es de grande?, ¿cuánto tiempo lleva allí?, ¿hacia dónde va? o ¿con que velocidad se desplaza?

Así pues, una vez conocidas las sustancias contaminantes presentes, se estudiará el espacio contaminado desde un par de aspectos: en primer lugar, se determinará la existencia o no de producto en fase libre y, en segundo lugar, se determinará la distancia recorrida por cada contaminante en la pluma usando para ello las fórmulas e información tratada en la asignatura de Gestión de suelos y Sedimentos Contaminados del Master de Ingeniería Ambiental. Los resultados que se obtengan tras esta caracterización serán de importancia tanto como para conocer el estado y situación de la contaminación como para poder completar los parámetros que solicita el RBCA.

De forma previa, se necesita conocer unos datos típicos de la zona subsuperficial objeto de estudio que se usarán de forma general en la mayoría de los cálculos posteriores, entre ellos:

- Porosidad (σ): 0,38
- Fracción de carbono orgánico en el material del suelo (foc): 0,0365
- Grado de saturación de agua: 40 %
- Densidad del material del suelo (ρ_s): 1,8 g/cm³

Además, en la siguiente tabla se recogen las propiedades físicas de cada uno de los contaminantes, obtenidas de la base de datos del programa RBCA. Estas propiedades físicas también serán necesarias para los cálculos que se pretenden realizar para la caracterización del espacio, entre ellas se encuentra el peso molecular del compuesto, la constante de Henry en forma adimensional, la presión de vapor, el logaritmo del coeficiente octanol-agua y la temperatura.

Tabla 4. Propiedades físicas de los contaminantes.

Compuesto	MW (g/mol)	H*	ρ_{vap} (mmHg)	Log Kow	T (°C)
Hexano, n-	86,18	46,60	152,00	3,29	20,00
Naftaleno	128,17	0,02	0,09	3,17	20,00
Octanona	128,21	0,01	1,50	2,61	20,00
Tolueno	92,14	0,28	28,20	2,54	20,00
Etil benceno	106,17	0,33	9,60	3,03	20,00
Xileno, o-	106,17	0,01	6,75	3,13	20,00
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	120,19	0,15	1,59	3,65	20,00
Benceno	78,11	0,23	95,00	1,99	20,00
Metil t-butil éter (MTBE)	88,15	0,02	249,00	1,43	20,00

3.1.1. Fase libre.

En primer lugar, se va a determinar si existe contaminante en fase libre en el subsuelo y cuál podría ser la máxima concentración del contaminante en el suelo si no existiera fase libre. Para ello, es necesario calcular el coeficiente de partición suelo-agua o capacidad de adsorción de compuestos orgánicos (Ecuación 1) y la concentración del contaminante en el vapor del suelo, suponiendo el equilibrio ideal entre el vapor y el contaminante líquido puro (Ecuación 3). Una vez estos dos estén calculados se pueden obtener la concentración máxima de contaminante sin que llegue a presentarse fase libre (Ecuación 4), la cual se comparará con la concentración experimental media en el suelo (Ecuación 5). Cuando la contaminación experimental (Mt/V en mg/L) es mayor a la máxima (X_{MAX} en mg/L) significa que necesariamente debe existir fase libre en el suelo.

La capacidad de adsorción de compuestos orgánicos (K_p) aumenta con el contenido en carbono, la capacidad de cada compuesto se recoge en la primera columna de la Tabla 5. Para su cálculo se empleará la siguiente ecuación:

$$K_p = f_{CO} \cdot K_{CO} \quad (1)$$

O lo que es lo mismo:

$$K_p = f_{CO} \cdot (0,63 \cdot K_{OW}) \quad (1)$$

Donde:

- K_p : capacidad de adsorción de compuesto orgánico (L/Kg).
- K_{OC} : coeficiente de partición para un suelo hipotético 100% carbono orgánico (L/Kg).
- f_{OC} : contenido en materia orgánica del suelo
- K_{OW} : coeficiente de partición octanol-agua (el octanol es utilizado como sustituto de los lípidos, por lo que K_{OW} es muy útil para predecir la bioacumulación en las grasas).

La concentración del vapor extraído (G) se obtiene a partir de la presión de vapor del compuesto en cuestión tras aplicarle factores de conversión y una relación masa-concentración, la cual será la misma para todos los compuestos contaminantes ya que las propiedades están en todas ellas para 20 °C: 1 ppmV = PM/24,05 (mg/m³). Los valores de concentración de vapor calculados con a siguiente ecuación se recogen en la segunda columna de la Tabla 5.

$$G \left(\frac{mg}{L} \right) = \rho_{vap} (mmHg) \cdot \frac{1 (atm)}{760 (mmHg)} \cdot \frac{10^6 (ppmV)}{1 (atm)} \cdot \frac{P.M. / 24,05 \left(\frac{mg}{m^3} \right) \cdot 1 (m^3)}{1 (ppmV) \cdot 1000 (L)} \quad (2)$$

Donde:

- G: concentración de contaminante en el vapor del suelo (mg/L).
- ρ_{VAP} : presión de vapor del compuesto, expresa la presión ejercida por una sustancia química en fase de vapor en equilibrio con la fase líquida a una temperatura dada (mmHg).
- PM: peso molecular del contaminante (g/mol).

Como ya se ha dicho, una vez realizados los dos cálculos anteriores se puede calcular la concentración máxima del contaminante, quedando recogida la concentración de cada contaminante en la tercera columna de la tabla de este apartado.

$$\frac{Mt}{V} M\acute{a}xima \left(\frac{mg}{L} \right) = \left[\phi_s + \frac{\phi_s \cdot K_p}{H^*} + \frac{\phi_w}{H^*} \right] \cdot G \quad (3)$$

Donde:

- Mt/V (Máxima): concentración máxima del contaminante en el suelo sin que exista fase libre (mg/L).
- Φ_s : porosidad del suelo.
- Φ_w : porosidad del agua.
- ϕ_s : densidad del material del suelo (g/cm^3).
- K_p : capacidad de adsorción de compuesto orgánico (L/Kg)
- G: concentración de vapor extraído (mg/L).
- H^* : constante de Henry (adimensional).

Por último, la máxima concentración del contaminante se obtiene al multiplicar la concentración experimental del contaminante (que se corresponde a las concentraciones medidas en el suelo mediante muestreos) por la densidad del suelo, el resultado está en la cuarta columna de la tabla.

$$X_{exp} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{Mt}{V} Experimental \left(\frac{mg}{Kg} \right) \cdot \phi \left(\frac{Kg}{L} \right) \quad (4)$$

Donde:

- X_{exp} : concentración del contaminante (mg/L).
- Mt/V (Experimental): concentración del contaminante en el suelo (mg/Kg).
- ϕ_s : densidad del material del suelo (Kg/L).

Finalizados los cálculos se han obtenido los siguientes resultados, en el orden que se ha mencionado anteriormente:

Tabla 5. Cálculo de la Fase Libre.

Compuesto	kp (L/Kg)	G (mg/L)	X _{MAX} (mg/L)	X _{EXP} (mg/L)	Fase Libre
Hexano, n-	44,63	716,65	1401,19	192,78	NO
Naftaleno	33,93	0,62	1908,79	53,01	NO
Octanona	9,37	10,49	28116,15	79,92	NO
Tolueno	7,98	142,16	7507,91	30,69	NO
Etil benceno	24,72	55,76	7602,80	31,41	NO
Xileno, o-	31,02	39,21	219518,22	42,39	NO
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	102,71	10,45	13066,04	236,43	NO
Benceno	2,25	406,00	7598,81	15,35	NO
Metil t-butil éter (MTBE)	0,62	1200,86	62583,19	21,20	NO

Tras comparar la concentración experimental con la concentración máxima de cada uno de los contaminantes, se obtiene que ninguno de ellos tiene fase libre debido a que en ningún momento la concentración que obtenemos de los muestreos supera la concentración máxima admisible. Debido a esto no se puede asegurar que exista fase libre de estos contaminantes y, debido a las grandes diferencias encontradas, es muy probable que no exista contaminantes en fase libre.

3.1.2. Distancia de la pluma.

El estudio del transporte de contaminantes es muy importante para dar respuestas por ejemplo al tiempo que tardará la pluma de contaminación en alcanzar el acuífero, a la distancia que llegará la contaminación o a qué velocidad se mueve la pluma, entre otras.

Por otra parte, para el uso del RBCA se va a necesitar conocer la distancia a la que han llegado los contaminantes. Para ello se van a tener que realizar cálculos previos como son el cálculo del factor de retardo, la conductividad hidráulica del acuífero, la velocidad de Darcy, la velocidad intersticial y la velocidad de la pluma.

FACTOR DE RETARDO

El factor de retardo afecta al término de generación de la ecuación de transporte, donde la adsorción suele ser el fenómeno más importante que afecta al retardo en la migración de contaminantes en aguas subterráneas. El factor R se denomina factor de retardo y se calcula mediante la siguiente ecuación (es un valor adimensional):

$$R = 1 + \frac{\varphi_s \cdot K_P}{\phi} \quad (5)$$

Donde:

- R: factor de retardo.
- Φ : porosidad.
- ρ_s : densidad del material del suelo (g/cm^3).
- K_p : capacidad de adsorción del contaminante (L/Kg)

Para su cálculo ya están disponibles todos los valores integrantes de la ecuación: la capacidad de adsorción fue calculada en el apartado anterior (se encuentra en la Tabla 5 de cálculo de la fase libre), y la densidad y la porosidad son valores ya nombrados al principio de este apartado. El resultado del factor de retardo para cada contaminante se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 6. Factor de retardo.

Compuesto	k_p (L/Kg)	R
Hexano, n-	44,63	212,41
Naftaleno	33,93	161,74
Octanona	9,37	45,38
Tolueno	7,98	38,79
Etil benceno	24,72	118,09
Xileno, o-	31,02	147,93
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	102,71	487,54
Benceno	2,25	11,64
Metil t-butil éter (MTBE)	0,62	3,93

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO

La conductividad hidráulica es la facilidad con la que un determinado material permite el paso de agua a través de él. Como ya se ha mencionado, dicho material está formado por gravas, arenas, arcillas y limos, siendo un tipo de suelo de arena arcillosa de acuerdo a la tabla propuesta por Coduto (1999).

Tabla 7. Valores típicos de la conductividad hidráulica. Fuente: Coduto, 1999.

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica (cm/s)
Grava limpia	1 a 100
Arena y grava mezclada	10^{-2} a 10
Arena gruesa limpia	10^{-2} a 1
Arena fina	10^{-2} a 10^{-1}
Arena limosa	10^{-3} a 10^{-2}
Arena arcillosa	10^{-4} a 10^{-2}
Limo	10^{-8} a 10^{-2}
Arcilla	10^{-10} a 10^{-6}

Puesto que el valor de conductividad hidráulica se encuentra entre un rango de 10^{-4} y 10^{-2} , se establece un valor de 0,003 para realizar los cálculos de caracterización del espacio, ya que este valor es un poco más que para arena fina y se aproxima a arena limosa debido a que es un suelo de varios componentes. Este valor equivale a 2,59 m/d.

VELOCIDAD DE DARCY

La velocidad de Darcy (V) es la velocidad de descarga que asume que el flujo se da en toda la sección sin tener en cuenta la porosidad del medio. Esta es el producto de la conductividad hidráulica por el gradiente hidráulico que se ha calculado anteriormente.

$$V = K \cdot i \quad (7)$$

Donde:

- V : velocidad de Darcy (m/d).
- K : conductividad hidráulica del acuífero (m/d).
- i : gradiente hidráulico.

Por tanto, habiendo calculado la conductividad hidráulica típica para este tipo de suelo y tomando como base el gradiente hidráulico que más adelante se calculará, se obtiene una velocidad de Darcy de 0,086 m/d.

LA VELOCIDAD INTERSTICIAL

La velocidad intersticial (V_s) es el caudal por unidad de área hueca en el medio poroso, esta se relaciona con la velocidad de Darcy como:

$$V_s = \frac{Q}{\phi \cdot A} = \frac{V}{\phi} \quad (6)$$

Donde:

- V_s : velocidad intersticial (m/d).
- V : velocidad de Darcy (m/d).
- Φ : porosidad.

Por tanto:

$$V_s = \frac{0,086}{0,38} = 0.227 \text{ m/d}$$

LA VELOCIDAD DE LA PLUMA Y DISTANCIA RECORRIDA

Finalmente, con todos los datos calculados anteriormente solo queda por calcular la velocidad de cada contaminante en la pluma y la distancia que alcanza durante los 10 años desde el vertido. Para el cálculo de la velocidad de cada contaminante se usará la Ecuación 9, y una vez calculada se multiplicará por 365 días para obtener el valor en metros por año. Por último, este valor se multiplicará por 10 años desde el vertido para obtener la distancia que ha recorrido. La Tabla 8 es el resultado obtenido tras estos cálculos.

$$V_P = \frac{V_s}{R} \quad (9)$$

Donde:

- V_P : velocidad de la pluma (m/d)
- R : factor de retardo.
- V_s : velocidad intersticial (m/d).

Tabla 8. Velocidad y distancia de la pluma.

Compuesto	Velocidad de la pluma (m/a)	Dist. Recorrida (m)
Hexano, n-	0,39	3,89
Naftaleno	0,51	5,11
Octanona	1,82	18,21
Tolueno	2,13	21,31
Etil benceno	0,70	7,00
Xileno, o-	0,56	5,59
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	0,17	1,70
Benceno	7,10	70,98
Metil t-butil éter (MTBE)	21,02	210,23

3.2. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES:

INTRODUCCIÓN DE DATOS

3.2.1. Identificación de las rutas de exposición.

En este apartado se especificarán las rutas completas de exposición para el sitio, el tipo de receptores (residencial, comercial, etc.) para cada ruta completa y la distancia desde el foco hasta cada receptor. Dentro de esta distancia cabe mencionar que habrá que diferenciar entre el término “en sitio”, que se refiere a un receptor ubicado en la zona del foco, con el término “fuera del sitio”, que implica que hay un receptor en cualquier punto alejado de la zona del foco.

Identificación de las rutas de exposición

1. Exposición al agua subterránea
 Ingestión de agua subterránea/ impacto al agua superficial
 Receptor: Ninguno | Res. | Ninguno
 Distancia: 0 | 500 | 5200 (m)
 Compartimiento ambiental del foco:
 Aguas subterráneas afectadas
 Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas
 Opción:
 Aplicar el valor MCL como LEBR para ingestión (sólo cálculo inverso)
 Exposición por descarga de aguas subterráneas y contacto con agua superficial
 Natación
 Consumo de pescado
 Criterios de calidad de agua especificados
 Ingresar Criterios

2. Exposición al suelo superficial
 Exposición combinada
 Rutas Aplicadas
 Receptor: Res.
 Ingestión directa
 Contacto dérmico
 Inhalación (volatilización + partículas)
 Ingestión de vegetales
 Opciones para vegetales

3. Exposición al aire
 Volatilización y partículas - inhalación de aire ambiental
 Receptor: Com. | Res. | Com.
 Distancia: 0 | 80 | 130 (m)
 Compartimiento ambiental del foco: Obrero de Construcción
 Suelos afectados: volatilización a aire ambiental
 Aguas subterráneas afectadas: volatilización a aire ambiental
 Suelos superficiales afectados: partículas al aire ambiental
 Volatilización - inhalación en aire interior
 Receptor: Com. | Res. | Com.
 Distancia: 0 | 80 | 130 (m)
 Suelos afectados: volatilización a aire interior
 Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas: volatilización a aire interior
 Aguas subterráneas afectadas: volatilización a aire interior
 Opciones para edificio

4. Comandos y opciones
 Pantalla principal | Imprimir página | Cambiar unidades | Ayuda
 Factores de exposición y riesgo aceptable | Diagrama de flujo de exposición

Nombre del sitio: Ballencóil Alcàsser
 Lugar: Alcàsser
 Realizado por: C. Bodi
 Nombre de trabajo: TFM
 Fecha: 0-ene-yy

Imagen 11. Identificación de las rutas de exposición.

La pantalla de rutas de exposición tiene cuatro secciones a completar:

1) Exposición al agua subterránea.

a) Ingestión de agua subterránea/Impacto al agua superficial.

Esta ruta de exposición implica la ingestión directa del agua subterránea afectada o la exposición al agua superficial donde se vierte el agua subterránea contaminada. Para esta ruta de exposición, el agua subterránea puede estar afectada directamente mediante el contacto directo con un foco contaminante o indirectamente mediante lixiviación de los suelos superficiales afectados.

Como se ve en la Imagen 11, habrá que seleccionar tres tipos de receptores: uno en el sitio y dos fuera del sitio (debido a que se está realizando un análisis de Tier 2/3). Puesto que en el sitio no existe una ruta completa de exposición para un receptor específico de las aguas subterráneas debemos seleccionar “Ninguno” como tipo de receptor. En cuanto a los receptores fuera del sitio se van a estudiar la posibilidad de definir dos:

- Fuera del sitio 1 se encuentra un uso particular de un pozo a unos 500 metros desde la matriz del foco (la gasolinera) hasta el receptor (el pozo), por lo que se seleccionará residencial (Res.) como tipo de receptor debido a que es el uso más restrictivo.
- Fuera del sitio 2 se puede incluir un receptor adicional en el caso de la ruta de exposición al agua superficial (“A. sup.”). Esta ruta de exposición no se refiere a la ingestión de aguas subterráneas, sino a la exposición al agua superficial contaminada por la descarga de agua subterránea afectada, siendo el lago de la Albufera el agua superficial a tener en cuenta. Tras medir la distancia, este se encuentra a 5200 metros (demasiada distancia para que los contaminantes lleguen al mismo). Además, como veremos más adelante, tras realizar el análisis transitorio de Domenico se comprueba que no llega la exposición a agua superficial por lo que, finalmente, este segundo receptor no se tendrá en cuenta.

Por último, se marcará como compartimento ambiental del foco las aguas subterráneas afectadas y los suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas para obtener información para ambos escenarios.

2) Exposición al suelo superficial.

Esta ruta de exposición incluye los efectos combinados de la exposición humana a suelos superficiales afectados por contacto dérmico, ingestión accidental, inhalación de vapores y polvo, e ingestión de vegetales. Estos efectos sólo se aplican a los receptores que están en el sitio ya que se supone que esta exposición sucede en el área inmediata de la zona afectada del suelo. Es posible elegir entre tres tipos de receptores en el sitio para las rutas de exposición al suelo: residencial, comercial o definido por el usuario. Se seleccionará una exposición por uso residencial ya que es el más restrictivo, especificando que los mecanismos de exposición correspondientes a esa ruta son ingestión directa, por contacto dérmico y por inhalación.

Cabe destacar que es posible considerar un receptor obrero de la construcción al marcar la casilla “Obrero de Construcción”. Sin embargo, esta opción se refiere a los riesgos basados en el contacto a corto plazo con los suelos contaminados mientras se realizan las excavaciones, por lo que al no existir ningún tipo de obra o excavación no se tendrá en cuenta.

3) Exposición al aire.

a) Inhalación del aire ambiental.

Esta ruta de exposición implica la inhalación de vapores en ambientes externos, los cuales emanan de suelos y/o aguas subterráneas afectadas y partículas del suelo provenientes de los suelos superficiales afectados.

Al igual que en el primer punto de este apartado, encontramos que habrá que seleccionar tres tipos de receptores: uno en el sitio y dos fuera del sitio.

- En primer lugar, en cuanto al receptor en el sitio se establece el uso comercial (Com.) debido al propio trabajador de la gasolinera y a los usuarios que hagan el alto para el uso de las instalaciones. Puesto que se habla del receptor en el sitio, la distancia del receptor hasta el foco será de 0 metros.
- En segundo lugar, en cuanto al receptor fuera del sitio 1, debido a que la gasolinera se encuentra próxima a zona urbanizada se establecerá como receptor un uso residencial (Res.), siendo distancia lateral que hay desde el borde vientos abajo del área del foco hasta cada receptor de aire exterior de 80 metros.
- Por último, además de una zona residencial, también hay proximidad a una zona industrial por lo que se establece un uso comercial (Com.) fuera del sitio 2 a una distancia de 130 metros.

Por otra parte, las matrices del foco que aportan a la ruta de exposición por inhalación de aire exterior son las correspondientes a la volatilización generada por suelos y aguas

subterráneas afectadas, así como la emisión de partículas provenientes de suelos superficiales afectados.

b) Inhalación del aire interior.

Esta ruta de exposición implica la acumulación de aire interior y la inhalación de vapores que emanan de suelos y/o aguas subterráneas afectadas. Se establecen las mismas que en el apartado superior, ya que los receptores afectados por inhalación de aire ambiental no varían de los afectados por inhalación de aire interior.

A continuación, se identifica que las matrices del foco que aportan a la ruta de inhalación del aire interior son las correspondientes a la volatilización originada desde los suelos y suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas, así como también debido a la emisión de partículas provenientes de los suelos superficiales afectados.

4) Comandos y opciones.

En este último apartado de la ventana del programa correspondiente a la identificación de las rutas de exposición se encuentran algunas teclas de navegación del programa que se encuentran en todas las pestañas del programa, estando entre estas la casilla que lleva a la pantalla de factores de exposición y riesgos aceptable, donde se debe indicar los factores de exposición correspondientes a cada ruta de exposición completa, así como especificar las opciones deseadas para cálculos de riesgos e introducir los riesgos aceptables para la salud que quiere aplicar.

Puesto que al introducir los datos de un proyecto el programa introduce en esta ventana los valores predeterminados adecuados para el cálculo de riesgos, se dejarán estos mismos sin realizar más modificaciones (Imagen 12).

Imagen 12. Factores de exposición y riesgo aceptable.

3.2.2. Compuestos de interés (CDI) en la matriz del foco.

En esta pantalla se identificará los compuestos de interés (CDI) presentes en el sitio y se introducirán las concentraciones representativas en sus respectivas matrices del foco.

The screenshot shows the 'Compuestos de interés (CDI) en los focos' window. At the top, it displays site information: 'Nombre del sitio: Ballenoll Alcàsser', 'Lugar: Alcàsser', 'Realizado por: C. Bodí', 'Nombre de trabajo: TFM', and 'Fecha: 0-ene-yy'. There are buttons for 'Pantalla principal', 'Imprimir página', and 'Ayuda'. The main area is divided into sections for 'CDI seleccionados', 'Concentración representativa de CDI', and 'Fración Molar en el Material del Foco'. The 'Foco del agua subterránea' table has columns for '(mg/L)' and 'note', with values like 6,5E+0 for Hexano, n-. The 'Foco del suelo' table has columns for '(mg/kg)' and 'nota', with values like 1,1E+2 for Hexano, n-. A list of selected compounds is on the left, including Hexano, n-, Naftaleno, Octanona, Tolueno, Etil benceno, Xileno, o-, Trimetilbenceno, 1,2,4-, Benceno, and Metil t-butil éter (MTBE).

Imagen 13. Compuestos de interés en los focos.

Para realizar el análisis RBCA, se seleccionarán los CDI, los cuales se visualizan en el lado izquierdo de la imagen anterior. Por tanto, como ya se ha definido en anteriores apartados, los compuestos de interés que se deben seleccionar son el n-hexano, el naftaleno, la octanona, el tolueno, el etilbenceno, el o-xileno, el 1,2,4-trimetilbenceno, el benceno y el metil t-butil éter (MTBE). Estos contaminantes están en la base de datos de los compuestos químicos que tiene incorporada el RBCA, donde están recogidos todos los parámetros específicos de las sustancias químicas.

Una vez seleccionados se puede introducir directamente las concentraciones representativas del foco del agua subterránea y del suelo, que son las concentraciones obtenidas mediante los muestreos, resumidas en la Tabla 9.

Tabla 9. Concentraciones de los compuestos de interés.

Compuesto	Foco del suelo (mg/kg)	Foco del agua subterránea (mg/L)
Hexano, n-	107,10	6,49
Naftaleno	29,45	1,78
Octanona	44,40	13,88
Tolueno	17,05	5,33
Etil benceno	17,45	1,06
Xileno, o-	23,55	1,43
Trimetilbenceno, 1, 2, 4-	131,35	7,96
Benceno	8,53	2,66
Metil t-butil éter (MTBE)	11,78	3,68

Por último, cabe nombrar que existe la opción de aplicar la ley de Raoult que se utiliza si se sabe o se sospecha que hay materiales líquidos en fase no acuosa (NAPL) en el foco del suelo o del agua subterránea. Sin embargo, los modelos usados en el RBCA Tool Kit

suponen que hay un equilibrio en la distribución de CDI entre dos o tres fases solamente (se supone la partición de CDI en equilibrio entre el suelo y el agua o entre suelos, agua y vapor) sin tomar en cuenta explícitamente la presencia de líquidos en fase no acuosa por lo que, en general, no considerar la presencia de la fase NAPL como cuarto medio de partición es una medida conservadora, la cual genera valores de limpieza basados en riesgo más bajos para suelos o aguas subterráneas afectadas. Ya que se pretende que el programa actúe de la forma más conservadora posible y no se vea afectado o modificado por opciones adicionales, esta opción no se seleccionará.

3.2.3. Opciones de modelos de transporte.

En la pantalla de modelos de transporte se tiene opción para seleccionar los modelos apropiados de transporte de los CDI entre matrices (por ejemplo, suelo a aire, suelo a agua subterránea, y agua subterránea a aire) o hacia los receptores fuera del sitio (mediante el transporte por aire o por agua subterránea).

3.2.3.1. CASO A: Ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación).

Hay cuatro secciones a completar en las opciones de modelos de transformación y transporte, tal y como se ve en la siguiente imagen.

Imagen 14. Opciones de modelos de transformación y transporte (Caso A).

Se diferencia entre:

- 1) **Transporte vertical en la columna del suelo superficial.**
 - a) Factores de volatilización a aire ambiental.

El factor de volatilización (VF) hacia el aire ambiental para un CDI dado se define como la concentración estimada en aire ambiental exterior, que resulta de la volatilización del suelo o agua subterránea, dividida por la concentración del CDI en la matriz del foco

(suelo o agua subterránea). Este es el cociente asumido en estado estacionario entre la concentración en el aire ambiental y la concentración en el suelo o aguas subterráneas afectadas en la zona del foco, las cuales servirán para calcular los riesgos y hacer los cálculos a la inversa para definir los niveles de limpieza en esa zona del foco. Se derivarán los factores de volatilización hacia el aire exterior siguiendo el modelo de Johnson y Ettinger de combinación de suelo superficial, este modelo usa dos modelos diferentes para la volatilización de los suelos superficiales y del subsuelo. En esta opción se debe especificar el espesor de la capa de suelo superficial, siendo esta de un metro, el cual es un valor predeterminado pero aceptable, por lo que se da por válido.

b) Factores de volatilización a aire interior.

El factor de volatilización (VF) del aire interior para un CDI dado es definido como la concentración estimada en aire interior, resultante de la volatilización del suelo o agua subterránea, dividida por la concentración del CDI en la matriz del foco (suelo o agua subterránea). Este es el cociente asumido en estado estacionario entre la concentración del aire interior y la concentración en suelo o aguas subterráneas afectadas en la zona del foco, que se usará para calcular los riesgos y hacer el cálculo a la inversa de los niveles de limpieza en la zona del foco. Se derivarán los factores de volatilización del aire interior siguiendo el modelo de Johnson y Ettinger para volatilización del suelo y aguas subterráneas.

c) Factor de lixiviación de suelo a aguas subterráneas.

El factor de lixiviación (LF) de suelos a aguas subterráneas para un CDI dado se define como la concentración estimada en aguas subterráneas, resultante de la lixiviación del suelo, dividida por la concentración del CDI en el suelo de la zona del foco. Este es el coeficiente asumido en estado estacionario entre las concentraciones de sustancias químicas en la zona subyacente donde se mezclan el agua subterránea, el lixiviado y la concentración del suelo afectado en la zona del foco ubicada encima, que se utilizará para calcular los riesgos y hacer los cálculos a la inversa de los niveles de limpieza aplicables a la zona del foco. Se derivan los factores de lixiviación de suelo a agua subterránea siguiendo el modelo ASTM, a la vez que supone que el lixiviado proveniente de los suelos contaminados se mezcla con el sistema de flujo de las aguas subterráneas subyacentes localizado directamente bajo los suelos afectados.

Por otra parte, al seleccionar el modelo de lixiviación de la ASTM se habilita la opción de “Aplicar el modelo de atenuación para suelos (SAM)”, sin embargo, esta no se aplicará debido a que este ajuste es importante si la profundidad hasta las aguas subterráneas es significativamente mayor que el espesor actual de la zona afectada del suelo, cosa que no ocurre al ser una zona tan próxima a la costa.

2) Factor de dispersión lateral del aire.

El factor de dispersión lateral del aire (ADF) es la relación en estado estacionario entre las concentraciones de aire ambiental fuera del sitio y las concentraciones de aire ambiental en el sitio, debido a la dispersión resultante del transporte por aire desde el área del foco hasta las localizaciones fuera del sitio donde se encuentra un receptor. Se debe

seleccionar el modelo Gaussiano de dispersión en 3-D o introducir los factores de dispersión lateral del aire obtenidos a partir de otro modelo apropiado. Al no ser poseedores de estos factores de dispersión lateral fuera del sitio se opta por la primera opción, donde para cada receptor fuera del sitio se calcula como una función de la distancia desde el foco.

3) Factor de atenuación por dilución en aguas subterráneas.

El factor de atenuación por dilución de las aguas subterráneas (DAF) para un CDI determinado se define como la proporción entre la concentración del componente en las aguas subterráneas en la zona del foco y la concentración estimada en las aguas subterráneas en el lugar específico donde está el receptor, bajo condiciones de flujo en estado estacionario. Si se toma como caso más desfavorable que no se produce la biodegradación, se derivaran los valores DAF de las aguas subterráneas de acuerdo a la ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación), la cual usa el modelo analítico de Domenico para el transporte de solutos en estado estacionario, el cual sirve para considerar la dispersión que ocurre entre la zona del foco de agua subterránea y la localización de un receptor fuera del sitio en un acuífero de espesor infinito.

4) Degradación química y agotamiento del foco.

Esta sección no estará habilitada debido a que no se ha seleccionado “Aplicar el algoritmo de agotamiento del foco” en la pantalla principal.

3.2.3.2. CASO B: Ecuación de Domenico con degradación de primer orden.

Al igual que en el caso A, hay cuatro secciones a completar en las opciones de modelos de transformación y transporte.

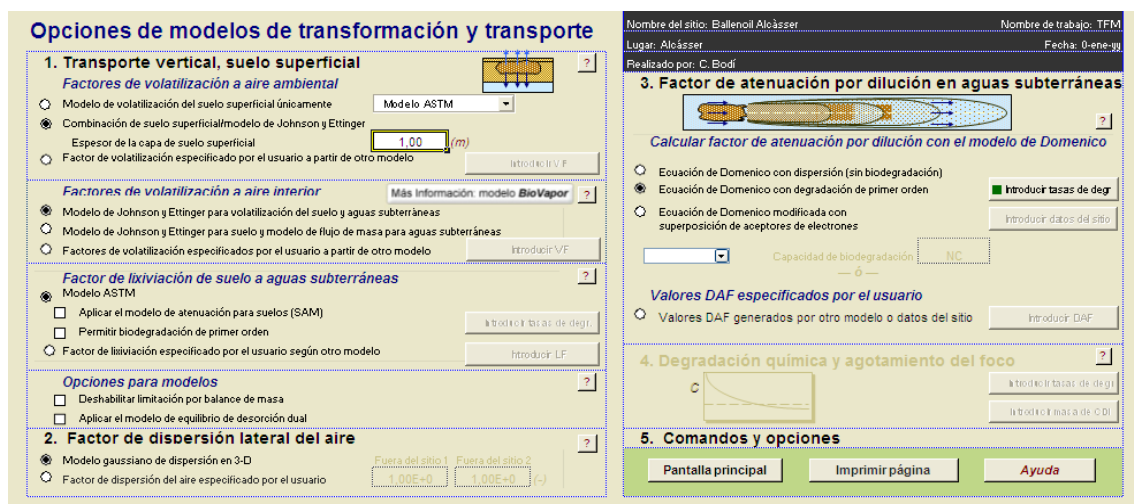


Imagen 15. Opciones de modelos de transformación y transporte (Caso B).

Tanto el apartado de transporte vertical en la columna de suelo superficial, como el apartado de factor de dispersión lateral del aire, como en el apartado de la degradación química y agotamiento del foco están configurados de forma idéntica para el Caso A como para el Caso B. Ahora bien, será en el tercer apartado sobre el factor de atenuación por dilución en aguas subterráneas en el que se encuentran diferencias.

En este caso se establece la ecuación de Domenico con degradación de primer orden, de esta forma se usa el modelo analítico de Domenico para transporte de solutos en estado estacionario para considerar la dispersión que existe entre la zona del foco de aguas subterráneas y la localización de un receptor fuera del sitio en un acuífero de espesor infinito; y para considerar los efectos de la biodegradación como un proceso de degradación de primer orden. Esta opción requiere que se especifique los valores de vida media para cada CDI (siendo únicamente necesarios los tiempos para la zona saturada). Para ello, en el RBCA Tool Kit se indican a título informativo los valores predeterminados según publicaciones, los cuales pueden ser usados en análisis preliminares. Puesto que el uso de valores provenientes de la literatura no garantiza que los resultados arrojados por el modelo sean conservadores, se multiplicarán por cinco los tiempos facilitados por el programa para mantener siempre el lado de la seguridad, obteniéndose los siguientes tiempos de vida media (Imagen 16) y sus respectivos coeficientes de degradación de primer orden:

Nombre del sitio: Ballenoi Alcàsser		Nombre de trabajo: TFM		Comandos y opciones	
Lugar: Alcàsser		Fecha: 0-ene-yy		Volver	Imprimir página
Realizado por: C. Bodí				Pegar valores predefinidos	Ayuda
Tasas de degradación de compuestos					
	Zona saturada		Zona no saturada		
Compuesto	Vida media	Coef. de degrad. de primer orden	Vida media	Coef. de degrad. de primer orden	
	(día)	(1/día)	(día)	(1/día)	
Hexano, n-	5,0E+1	1,4E-2		0,0E+0	
Naftaleno	1,3E+3	5,3E-4		0,0E+0	
Octanona	5,0E+1	1,4E-2		0,0E+0	
Tolueno	1,4E+2	5,0E-3		0,0E+0	
Etil benceno	1,2E+3	6,0E-4		0,0E+0	
Xileno, o-	1,8E+3	3,9E-4		0,0E+0	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,8E+2	2,5E-3		0,0E+0	
Benceno	3,6E+3	1,9E-4		0,0E+0	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,8E+3	3,9E-4		0,0E+0	

Imagen 16. Vida media de los CDI.

3.2.4. Parámetros del suelo.

En esta pantalla se establecen los parámetros de las propiedades físicas del suelo, tal y como se ilustra en la Imagen 17. Los parámetros de esta pantalla se usan tanto en el modelo de volatilización de suelo a aire como en el de lixiviación de suelo a agua subterránea.

Parámetros del suelo

1. Características del suelo

Hidrogeología

Profundidad hasta el acuífero: (m)

Espesor de la zona capilar: (m)

Espesor de la columna de suelo: (m)

Zona afectada del suelo

Profundidad del techo de suelo afectado: (m)

Profundidad de la base de suelo afectado: (m)

Longitud del suelo afectado paralela a dirección del flujo de agua subter. a dirección del flujo de agua subter.: (m)

Área de suelo afectado: (m²)

Longitud de suelo afectado paralelo a la dirección del viento: (m)

Nombre del sitio: Ballenoi Alcásser Nombre de trabajo: TFM

Lugar: Alcásser Fecha: 0-ene-yy

Realizado por: C. Bodí

2. Columna de suelo superficial

Tipo de suelo USCS predominante:

	Zona vadosa	Zona capilar
Contenido volumétrico de agua	0,23	0,342 (-)
Contenido volumétrico de aire	0,15	0,038 (-)
Porosidad total	0,38	(-)
Densidad seca	1,7	(kg/L)
Conductividad hidráulica vertical	0,884	(cm/d)
Permeabilidad del vapor	1,00E-15	(m ²)
Espesor de la zona capilar	0,21	(m)

Infiltración neta de la pluviosidad

Estimado neto de infiltración: (cm/año)

σ:

Precipitación anual promedio: (cm/año)

Parámetros de partición

Fración de carbono orgánico - columna de suelo: (-)

Fración de carbono orgánico - zona de raíces: (-)

pH del suelo/agua: (-)

3. Comandos y opciones

Imagen 17. Parámetros del suelo.

Se diferencian dos secciones a completar para el funcionamiento del programa:

1) Características del suelo en la zona del foco.

a) Hidrogeología.

La hidrología del suelo queda definida por la profundidad hasta el acuífero, el espesor de la zona capilar y el espesor de la columna de suelo.

- La profundidad hasta el acuífero es la distancia que hay desde la superficie del terreno hasta la formación del acuífero. De acuerdo a los niveles del piezómetro, tomando el último valor registrado del nivel de profundidad del más cercano a la zona afectada (piezómetro 1 del ANEXO 1), este valor será de 11,99 metros (redondeado a 12 m).
- El espesor de la zona capilar es la distancia que hay por encima de la zona saturada, donde el agua puede ascender por capilaridad. El valor se establece automáticamente al poner el tipo de suelo USCS predominante de cual se habla más adelante, este valor es de 0,21 metros.
- El espesor de la columna de suelo es la distancia que hay desde la superficie del terreno hasta la parte superior de la zona capilar. Al igual que el anterior este también se establece por defecto, siendo de 11,9 metros.

b) Zona afectada del suelo.

La zona afectada por el suelo queda caracterizada por la profundidad del techo de suelo afectado, la profundidad de la base de suelo afectado, la longitud del suelo afectado paralela a la dirección del flujo de agua subterránea, el área de suelo afectado y la longitud de suelo afectado paralelo a la dirección del viento.

- La profundidad del techo de suelo afectado es la distancia que existe desde la superficie del terreno hasta el límite superior de los suelos contaminados por los CDI. Considerando que el suelo empieza a ser afectado a la altura en la que se encuentra el lomo del tanque de almacenamiento, esta será de 2 metros.
- La profundidad de la base de suelo afectado es la distancia que hay desde la superficie del terreno hasta el límite inferior (o base) de los suelos afectados por

los CDI. Puesto que el nivel piezométrico indica que el acuífero se haya a 11,99 metros desde la superficie del terreno, la base del suelo será la diferencia de esto y los dos metros hasta el lomo del tanque: 9,99 metros.

- La longitud del suelo afectado paralela a la dirección del flujo de agua subterránea es la longitud del área de suelos afectados que está paralela a la dirección del flujo de aguas subterráneas. Esta distancia corresponde a la distancia máxima recorrida por los compuestos de interés, que ha sido calculada en el proceso de caracterización del espacio contaminado, siendo el MTBE con un total de 210,23 metros (redondeándose a 215 metros para mantener un margen de seguridad).
- El área de suelos afectado es la extensión lateral del suelo afectado. Debido a que no se conoce el transporte de contaminante en todas las direcciones, se toma el valor de la longitud del suelo afectado que se ha dado en el guion anterior y se establecerá que la extensión lateral corresponde a esta misma al cuadrado: 46.225 m².
- La longitud del suelo afectado paralela a la dirección del viento sirve para definir las dimensiones y las concentraciones en la zona de mezcla del aire. Este valor se desconoce por lo que se dejará el valor que da el programa como predeterminado: 45 metros.

2) Columna de suelo superficial.

a) Tipo de suelo USCS predominante.

En esta sección se puede clasificar el tipo de suelo predominante en la columna de suelo superficial con el sistema unificado de clasificación de suelos, con el fin de aplicar las propiedades predeterminadas según el tipo de suelo específico. Para la elección del tipo de suelo se ha usado la información del visor de Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica, de acuerdo con esto, la litología que se encuentra en la zona es un suelo de gravas, arenas, arcillas y limos con un tipo de permeabilidad alta equivalente a unos 0,003 cm/s, que se corresponde a un tipo de suelo de arena arcillosa.

Por consiguiente, una vez seleccionado el tipo de suelo, el RBCA establece los valores predeterminados para el contenido volumétrico de agua y aire, la porosidad total, la densidad aparente seca, la conductividad hidráulica vertical, la permeabilidad del vapor y el espesor de la zona capilar de este mismo:

- El contenido volumétrico de agua es la cantidad fraccional de agua presente en el suelo en términos de volumen. Se establece para la zona vadosa un contenido de 0,23 y para la zona capilar un contenido de 0,342.
- El contenido volumétrico de aire es la cantidad fraccional de aire presente en el suelo en términos de volumen. Se establece para la zona vadosa un contenido de 0,15 y para la zona capilar un contenido de 0,038.
- La porosidad total es la proporción entre el volumen del poro ocupado por agua o vapor y el volumen total de una muestra representativa del suelo. Se establece un valor de 0,38.

- La densidad aparente seca es la masa seca del suelo dividida entre su volumen bruto. Se establece un valor de 1,7 kg/L.
- La conductividad hidráulica vertical es la permeabilidad del agua saturada de la zona del suelo superficial en dirección vertical. Se establece un valor de 0,864 cm/d.
- La permeabilidad del vapor es la permeabilidad de la zona del suelo superficial para la migración del vapor. Se establece un valor de $1 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$.
- El espesor de la zona capilar es la distancia, por encima de la formación saturada del acuífero, que el agua puede ascender por capilaridad, a través de la columna no saturada de suelo ubicada encima. Se establece un valor de 0,21 m.

b) Infiltración neta de la pluviosidad.

En esta sección se puede introducir directamente un “Estimado neto de infiltración” o estimar la infiltración como una función de la “Precipitación anual promedio” y del tipo predominante de suelo según el USCS. En este caso se optará por la segunda opción, de forma que es necesario establecer un valor de precipitación anual promedio: este se obtendrá a partir del visor de Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica, existiendo una precipitación anual media (1940/41 - 2005/06) de 504 mm/año, o lo que es lo mismo, 50,4 cm/año.

Asimismo, una vez establecido este valor, el RBCA estimada la infiltración en 4,57 cm/año.

c) Parámetros de partición.

Para terminar de completar los parámetros del suelo es necesario estipular la fracción de carbón orgánico en la columna de suelo (fracción de masa del carbón orgánico en los suelos de la zona no saturada, aplicable en los modelos de volatilización y lixiviación) y el pH del suelo/agua (usado para calcular las relaciones de partición entre suelo y agua que dependen del pH para algunos metales en suelo). Para determinar estos valores se usarán datos que se han medido en los suelos de la albufera, de forma que se conoce que los suelos del arrozal valenciano tienen una buena capacidad de retener el agua gracias, debido como ya se ha nombrado, a su textura franco-arcillo-limosa, son suelos calizos con pH ligeramente alcalino, elevado contenido en materia orgánica (2,2 - 5,1%), una relación C/N indicativa de una excesiva liberación de N, una conductividad media de 750 S/cm (suelo no salino) y unos suelos ricos en fósforo (Martínez, 2003).

Tabla 10. Rangos de pH. Fuente: Martínez, 2003.

Denominación	Rango de pH	Ligeramente ácido	6,1 - 6,5
Ultra ácido	< 3,5	Neutro	6,6 - 7,3
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4	Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0	Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5	Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0	Muy fuertemente alcalino	> 9,0

Por tanto, de acuerdo con estos datos sobre los suelos de la albufera se puede determinar, realizando una media, que la fracción de carbono orgánico es de 3,65% y que, al tratarse de suelos calizos de pH ligeramente alcalino, de acuerdo a la Tabla 10 el valor del pH corresponde a un valor medio de 7,5.

3.2.5. Parámetros del agua subterránea.

Accediendo a esta pantalla se puede introducir los parámetros referentes a las características físicas y las propiedades de transporte de la formación del acuífero (Imagen 18).

Parámetros del agua subterránea

1. Acuífero

Hidrogeología

Velocidad Darcy del agua subterránea: 2,9E-1 (cm/d)

Velocidad de filtración del agua subterránea: 1,5E+0 (cm/d)

Conductividad hidráulica: 8,6E+1 (cm/d)

Gradiente hidráulico: 0,00124 (-)

Porosidad efectiva: 0,19 (-)

Absorción

Fracción de carbono orgánico – zona saturada: 0,003 (-)

pH del agua subterránea: 7,5 (-)

2. Foco de agua subterránea

Ancho de la pluma de agua subterránea en el foco: 45 (m)

Espesor de la pluma (zona de mezcla) en el foco: 2 (m)

Espesor saturado: 2 (m)

Longitud del foco: 215 (m)

3. Dispersión del agua subterránea

Modelo: Xuy Eokstien

Distancia a los receptores de las aguas subterráneas:

	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
	500	5200	80	130

Dispersividad longitudinal: 9,11990269, 1,97352117, 3,92367386, 5,05653978 (m)

Dispersividad transversal: 0,91199027, 1,97352117, 0,39236739, 0,50565398 (m)

Dispersividad vertical: 0,09119903, 0,19735212, 0,03923674, 0,05056564 (m)

4. Descarga de agua subterránea a agua superficial

Distancia hasta el punto de descarga de A sub./A sup.: 114 (m)

Ancho de la pluma en la descarga: 0 (m)

Espesor de la pluma en la descarga: 0 (m)

Velocidad del flujo de agua superficial en la descarga: 0,1E+0 (m³/s)

5. Comandos y opciones

Pantalla principal, Usar / fijar valores predefinidos, Imprimir página, Cambiar unidades, Ayuda

Imagen 18. Parámetros del agua subterránea.

Habrá que completar tres secciones sobre datos del acuífero, del foco de agua subterránea y de la dispersión del agua subterránea en esta pantalla:

1) Acuífero.

Se seleccionará la opción calcular los valores de la velocidad de infiltración y Velocidad Darcy para aguas subterráneas, de forma que será necesario introducir los datos correspondientes a las propiedades hidrogeológicas (conductividad hidráulica, gradiente hidráulico y porosidad efectiva) y de sorción (fracción de carbono orgánico en la zona saturada y pH del agua subterránea) de la formación del acuífero afectada.

- La conductividad hidráulica es la medición de la permeabilidad saturada de los suelos con respecto al agua en la formación del acuífero. Como ya se ha comentado en el apartado de caracterización del espacio, el suelo es del tipo arena arcillosa cuya conductividad es de un valor de entre 10^{-4} y 10^{-2} cm/s de acuerdo a la Tabla 7, donde están los valores de conductividad hidráulica, por lo que, en esta ocasión, y para que el programa no se vea afectado por criterios propios, se establece que la conductividad hidráulica es la media entre estos dos valores: 10^{-3} cm/s (o lo que es lo mismo: 86,4 cm/d).
- El gradiente hidráulico es la medida de la pendiente de la capa freática o superficie piezométrica en la formación del acuífero, en el plano horizontal. El valor que se

establece es de $1,24 \cdot 10^{-3}$, el cual ha sido calculado mediante la información obtenida de los piezómetros.

En la Imagen 19 se puede observar las cotas, las profundidades y las distancias entre los piezómetros de la zona.



Imagen 19. Cotas, profundidad y distancias entre piezómetros de la zona. Fuente: Redes de seguimiento del Estado. Elaboración propia.

Mediante esta imagen se deduce que el gradiente hidráulico irá desde el interior hacia la costa debido a la depresión de la albufera, utilizando para su cálculo los datos de los piezómetros 1 (siendo el más próximo a la gasolinera) y 2, por tanto, se obtiene el siguiente esquema problema de cálculo:

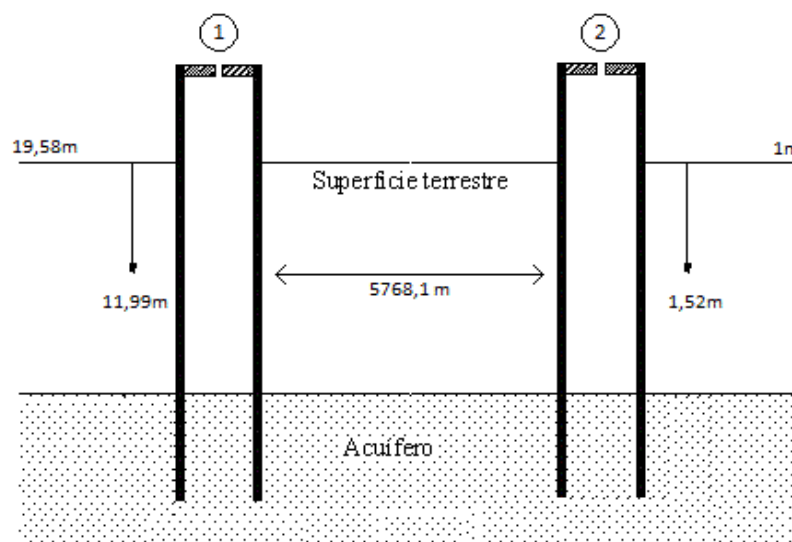


Figura 2. Esquema para el cálculo del gradiente hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

Comparando los valores de carga total tanto en el piezómetro 1 como en el 2, se observa que existe una diferencia entre ellos, ese valor es la pérdida de carga o carga hidráulica (Δh):

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (7)$$

Donde:

$$h_1 = |19,68 - 11,99| = 7,69 \text{ m}$$

$$h_2 = |1 - 1,52| = 0,52 \text{ m}$$

Por tanto, vinculando la pérdida de carga con el recorrido de la línea de filtración se obtiene el gradiente hidráulico i (adimensional) considerado positivo en la dirección de la corriente (Angelone et al., 2006):

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (8)$$

Donde:

- i : gradiente hidráulico.
- L : longitud del recorrido en la muestra del suelo (m).
- Δh : carga hidráulica (m).

Por tanto:

$$i = \frac{7,69 - 0,52}{5768,1} = 1,24 \cdot 10^{-3}$$

- La porosidad efectiva es la relación entre el volumen de los poros interconectados o fracturas dentro de los que circula el agua, con respecto al volumen total de una muestra representativa del suelo de la formación del acuífero. Se establece que la porosidad efectiva es la mitad de la porosidad total: 0,19.
- La fracción de carbón orgánico en la zona saturada es la fracción de masa del carbón orgánico en el suelo de la formación del acuífero. De acuerdo a la Hoja divulgativa núm. 5/93 HD del ministerio de agricultura pesca y alimentado de interpretación de análisis de suelos: El contenido en M. O. es más elevado, en general, en los primeros centímetros del suelo (primeros 5 cm de profundidad en zonas naturales y unos 10 cm en zonas cultivadas), disminuyendo en profundidad primero drásticamente y después paulatinamente hasta llegar casi a desaparecer a los 30-60 cm según el caso. Al suceder esto, el contenido en materia orgánica en la zona saturada es de 0,3%
- El pH del agua subterránea se usa para calcular las relaciones de partición entre el suelo y el agua que dependen del pH para algunos metales, se supondrá que es igual a la establecida en los parámetros del suelo: 7,5.

Tras establecer estos valores, el RBCA usa la aplicación calcular para obtener los valores de la velocidad de Darcy del agua subterránea y de la velocidad de infiltración de la misma.

- La velocidad de Darcy del agua subterránea es la descarga volumétrica total de las aguas subterráneas por unidad de área, definida como el producto de la conductividad hidráulica por el gradiente hidráulico. El valor calculado es de 0,29 cm/d.
- La velocidad de filtración del agua subterránea es la velocidad promedio del flujo linear, calculada al dividir la velocidad Darcy entre la porosidad. El valor calculado es de 1,5 cm/d.

2) Foco de agua subterránea.

En esta sección se establecen las dimensiones físicas de la zona del foco de las aguas subterráneas. El término “zona del foco” se refiere a la zona de agua subterránea afectada cuya concentración de CDI se usará para evaluar los riesgos de la línea base en el punto de exposición (PDE) y/o para la cual se derivarán niveles de limpieza.

Usando la herramienta “calcular” únicamente será necesario establecer los valores del ancho de la pluma de agua subterránea en el foco y el del espesor saturado, calculándose así los parámetros del espesor de la pluma en la zona de mezcla del foco y la longitud del foco.

- El ancho de la pluma de agua subterránea en el foco es el ancho del área del foco de agua subterránea perpendicular a la dirección de flujo del agua subterránea. Se usará el valor predeterminado del RBCA: 45 metros.
- El espesor saturado es la extensión vertical de la formación del acuífero. Se usará el valor predeterminado del RBCA: 2 metros.
- El espesor de la pluma (zona de mezcla) en el foco es el espesor vertical del área del foco de agua subterránea o el espesor vertical donde se presume que el lixiviado que está infiltrándose se mezcla con el agua subterránea lateral dentro de la formación del acuífero subyacente a la zona del foco de suelo. Tras fijar los dos datos anteriores, el RBCA calcula un valor de 2 metros para este espesor.
- La longitud del foco valor es igual al ancho del suelo afectado que está paralelo al flujo de las aguas subterráneas. Obteniendo un valor de 215 metros.

3) Dispersión del agua subterránea.

En esta sección, se pueden especificar los valores de dispersividad o calcular los valores con base en la distancia desde el foco hasta cada receptor (se opta por este último). La dispersividad es la propagación adicional de un componente en el agua subterránea, a medida que el agua subterránea afectada se desplaza junto con el grueso del flujo de agua subterránea, debido a los efectos combinados de la dispersión física y la difusión química. Para calcular los valores de dispersión, se elegirá el modelo de dispersividad de Xu y Eckstein (1995), que junto con la herramienta calcular, dará valores para la dispersividad longitudinal, transversal y vertical de cada una de las ubicaciones fuera del sitio tanto para las referentes a la ingestión del agua subterránea como para la exposición a aire interior (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de dispersividad para las ubicaciones fuera del sitio.

Modelo: Xu y Eckstien	Ingestión del agua sub		Agua sub. a aire interior	
Distancia a los receptores de las aguas subterráneas	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
	500	5200	80	130 (m)
Dispersividad longitudinal	9,11990269	19,7352117	3,92367386	5,05653978 (m)
Dispersividad transversal	0,91199027	1,97352117	0,39236739	0,50565398 (m)
Dispersividad vertical	0,09119903	0,19735212	0,03923674	0,0505654 (m)

Donde la dispersividad longitudinal es la propagación de una pluma en dirección del flujo del agua subterránea (ocasionada por las heterogeneidades en el medio poroso), la dispersividad transversal es la propagación de una pluma en sentido perpendicular a la dirección de flujo del agua subterránea (ocasionada por las heterogeneidades en el medio poroso) y la dispersividad vertical es la propagación de una pluma en dirección vertical (causada por las heterogeneidades del medio poroso).

3.2.6. Parámetros del aire.

Aquí se introducen los parámetros para calcular las concentraciones de los CDI en el aire interior y exterior, originadas por la volatilización del suelo al aire y/o del agua subterránea al aire.

Parámetros del aire

Nombre del sitio: Ballenoi Alcasser Nombre de trabajo: TFM
 Lugar: Alcasser Fecha: 0-ene-yy
 Realizado por: C. Bodí

1. Ruta de aire exterior

Dispersión en aire
 Distancia al receptor del aire fuera del sitio: Fuera del sitio 1: 80 (m), Fuera del sitio 2: 130 (m)
 Dispersividad horizontal: 8,5076121 (Fuera del sitio 1), 13,434475 (Fuera del sitio 2) (m)
 Dispersividad vertical: 5,6775951 (Fuera del sitio 1), 8,904827 (Fuera del sitio 2) (m)

Foco en aire
 Altura de la zona de mezcla: 2 (m)
 Velocidad del aire en la zona de mezcla: 4,3 (m/s)
 Inverso de la conc. promedio [Q/C]: 79,25

Emisión de partículas
 Modelo: Modelo ASTM
 Factor de emisión de partículas: 3,6E-12 (kg/m³)
 Flujo de emisión de partículas: 6,9E-14 (g/cm²/s)
 Fracción de la capa vegetal: 0,5 (-)
 Velocidad promedio anual del aire a 7 m: 4,8 (m/s)
 Velocidad límite del aire a 7 m: 11,32 (m/s)
 Función de la velocidad del viento [F(x)]: 0,224 (-)

2. Ruta de aire interior

	Residencial	Comercial	
Razón volumen / área de la edificación	2	3	(m)
Área de la solera	70	70	(m²)
Perímetro de la solera	49	34	(m)
Tasa de intercambio del aire del edificio	1,4E-4	2,3E-4	(1/s)
Profundidad al fondo de la solera	0,15	0,15	(m)
Flujo de aire por convección a través de grietas	0,0E+0	0,0E+0	(m³/s)
Espesor de la solera	0,15		(m)
Fración agrietada de la solera	0,001		(-)
Contenido volumétrico del agua en las grietas	0,12		(-)
Contenido volumétrico del aire en las grietas	0,26		(-)
Presión diferencial entre el interior y el exterior	0		(g/cm/s²)
Volumen del edificio	9,61	451	(m³)
Ancho del edificio perpendicular al flujo de A sub.	9,61	9,61	(m)
Longitud del edificio paralela al flujo de A sub.	9,61	9,61	(m)
Porosidad de la zona saturada del suelo	0,19		(-)
Dispersividad vertical	0,005		(m)
Velocidad de filtración de las A sub.	1,51		(cm/s)

3. Comandos y opciones

Pantalla principal Usar / fijar valores predefinidos Imprimir página
 Cambiar unidades Ayuda

Imagen 20. Parámetros del aire.

Hay dos secciones donde establecer parámetros:

1) Ruta de exposición al aire exterior.

a) Dispersión en aire.

Los valores de dispersividad en el aire se introducen directamente o se calculan como una función de la distancia que hay desde el foco a cada receptor. En este caso se optará por la opción calcular de forma que el RBCA sea el que estime los valores de dispersión (Tabla 12).

Tabla 12. *Dispersión en aire.*

	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
Distancia al receptor del aire fuera del sitio	80 (m)	130 (m)
Dispersividad horizontal	8,5076121 (m)	13,434475 (m)
Dispersividad vertical	5,6775951 (m)	8,904827 (m)

Donde la dispersividad horizontal es la propagación longitudinal de una pluma en sentido paralelo a la dirección del flujo de aire y la dispersividad vertical es la propagación transversal de una pluma en sentido perpendicular a la dirección del flujo de aire.

b) Foco en aire.

En el foco en aire se debe establecer valores para la altura y de la velocidad del aire en la zona de mezcla:

- La altura de la zona de mezcla es la altura de la capa límite de la atmósfera que está cerca de la superficie del terreno dentro de la cual el CDI se mezcla uniformemente. Se dejará el valor predeterminado de 2 metros, ya que la altura de la zona de mezcla es un parámetro general.
- La velocidad del aire en la zona de mezcla es la velocidad lateral del viento en la zona de mezcla. Para obtener este valor se usará el visor del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en el podremos obtener medias anuales de las velocidades del viento de la estación de medición de Alcàsser recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 13. *Media anual de velocidades en Alcàsser. Fuente: IDAE.*

- o Coordenadas UTM (m): 720947,4360764
- o Elevación (m): 23
- o Rugosidad (m): 0.3

	30m.	60m.	80m.	100m.
Velocidad (m/s)	4.3	4.79	4.94	5.01
Weibull C (m/s)	5.09	5.55	5.66	5.69
Weibull K	1.956	1.937	1.89	1.799

Se establecerá como velocidad del aire en la zona de mezcla la que existe a los 30 metros de altura (7 metros por encima de la elevación del terreno) ya que es la más próxima, siendo de 4,3 m/s.

c) Emisiones de partículas.

Para conocer el factor de emisión de partículas se usará la herramienta “Calcular” a partir del valor de flujo de emisión de partículas. El valor de flujo de emisión de partículas es la tasa del flujo de masa de las partículas en la superficie del terreno, que, al ser un parámetro general, se dejará el predeterminado por el programa: $6,9 \cdot 10^{-14} \text{ g/cm}^2/\text{s}$.

De forma que como resultado obtenemos un factor de emisión de $3,6 \cdot 10^{-12} \text{ kg/m}^3$.

2) Ruta de Exposición al Aire Interior.

En esta segunda sección se debe introducir las propiedades físicas y las dimensiones del inmueble residencial o comercial con las cuales se calculará las rutas de inhalación del aire interior, debido a que son propiedades y dimensiones generales se dejarán los valores predeterminados establecidos por el programa.

Puesto que se ha seleccionado el modelo de Johnson y Ettinger, se tienen que introducir los siguientes parámetros:

- Razón volumen/área de la edificación: Volumen interior de la estructura cerrada entre la suma del área de los pisos y paredes, a través de la cual se supone que migran los vapores. Se establece un valor de 2 m para uso residencial y un valor de 3 m para uso comercial.
- Área de solera: Área total combinada de pisos y paredes a través de la cual se supone que migran los vapores. Se establece un valor de 70 m² para uso residencial y para uso comercial.
- Perímetro de la solera: Longitud total de las uniones entre piso/pared y pared/pared que están adyacentes al área donde se supone que migran los vapores. Se establece un valor de 49 m para uso residencial y un valor de 34 m para uso comercial.
- Tasa de intercambio del aire del edificio: Tasa a la cual el aire exterior reemplaza el aire interior en un espacio determinado. Se establece un valor de $1,4 \cdot 10^{-4}$ 1/s para uso residencial y un valor de $2,3 \cdot 10^{-4}$ 1/s para uso comercial.
- Profundidad al fondo de la solera: La distancia vertical en el suelo desde el fondo de la placa del piso de la solera o del sótano hasta la superficie del terreno. Se establece un valor de 0,15 m para uso residencial y para uso comercial.
- Flujo de aire por convección a través de grietas: Tasa del flujo del aire a través de la placa del sótano. No se establece ningún valor para este flujo, por lo que será cero.
- Espesor de la solera: Espesor de pisos y paredes a través de la cual se supone que migran los vapores. Se establece un valor de 0,15 m.
- Fracción agrietada de la solera: Cantidad fraccional de grietas y agujeros que hay en los cimientos. Se establece un valor de 0,001.
- Contenido volumétrico del agua en las grietas: Cantidad fraccional de agua atrapada en las grietas llenas de suelo. Se establece un valor de 0,12 m.
- Contenido volumétrico del aire en las grietas: Cantidad fraccional de aire atrapado en las grietas llenas de suelo. Se establece un valor de 0,26 m.
- Presión diferencial entre el interior y el exterior: Diferencial de la presión de aire entre el aire interior y exterior que indica el flujo convectivo de aire que circula hacia el espacio interior. No se establece ningún valor para esta presión diferencial, por lo que será cero.

3.3. RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES: RESULTADOS

3.3.1. Diagrama de flujo con las rutas de exposición.

En este diagrama están graficadas las rutas de exposición que han sido especificadas de una manera sencilla (Imagen 12). El diagrama de flujo ilustra todas las matrices del foco, los mecanismos de transporte, los medios de exposición y los receptores seleccionados.

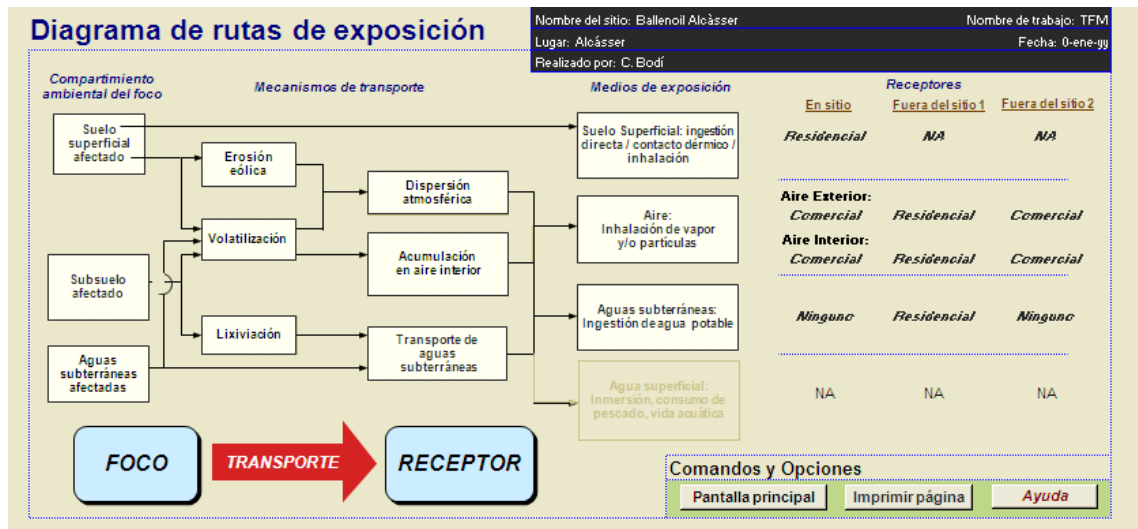


Imagen 21. Diagrama de rutas de exposición.

Mediante este diagrama se puede verificar visualmente cómo están planteados los aspectos de la evaluación con RBCA, como se puede observar el medio de recepción de agua superficial (inmersión, consumo de pescado y vida acuática) no está activada debido a que finalmente no se decidió establecer el lago de la albufera como un medio de recepción.

Este diagrama será el mismo tanto para el caso A (sin biodegradación) como para el caso B (degradación de primer orden).

3.3.2. Parámetros químicos de los CDI.

En los parámetros químicos de los compuestos de interés se presentan todos los datos químicos y toxicológicos usados por el RBCA Tool Kit. Estos datos son los predeterminados por el programa, por lo que no se ha realizado ningún cambio en ellos.

Estos parámetros químicos serán los mismo tanto para el caso A (sin biodegradación) como para el caso B (degradación de primer orden). Ver **ANEXO 2**.

3.3.3. Resumen de datos introducidos.

Esta pantalla de resultados muestra un resumen de todos los datos introducidos usados en la evaluación RBCA. La única diferencia entre ambos casos es el factor de atenuación por dilución en agua subterránea, sin embargo, se dejará constancia de ambos resúmenes en distintos anexos.

Ver **ANEXO 3** para el resumen de datos del CASO A: Ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación).

Ver **ANEXO 4** para el resumen de datos del CASO B: Ecuación de Domenico con degradación de primer orden.

3.3.4. Datos de los CDI especificados por el usuario.

Estos resultados resumen los datos introducidos sobre los compuestos de interés, mediante los que se generaron la caracterización de la zona del foco o los modelos de transporte.

CONCENTRACIONES DE LOS CDI

En cuanto a la caracterización del foco, en lo referente a las concentraciones de los CDI en el foco estas son las mismas para los dos casos de estudio con los que se trabaja debido a que es la comparación de una misma situación de contaminación con una variante. Los valores de las concentraciones representativas presentadas como resultados están en la siguiente tabla:

Tabla 14. Concentraciones representativas de CDI en los focos.

COMPUESTO	Concentración representativa de CDI			
	Aguas subterráneas		Suelos (2 - 10 m)	
	valor (mg/L)	nota	valor (mg/kg)	nota
Hexano, n-	6,5E+0		1,1E+2	
Naftaleno	1,8E+0		2,9E+1	
Octanona	1,4E+1		4,4E+1	
Tolueno	5,3E+0		1,7E+1	
Etil benceno	1,1E+0		1,7E+1	
Xileno, o-	1,4E+0		2,4E+1	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0		1,3E+2	
Benceno	2,7E+0		8,5E+0	
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0		1,2E+1	

VIDA MEDIA DE LOS COMPUESTOS

Por otra parte, dentro de la sección de “Modelos de transporte”, si la degradación de primer orden es la elegida se debe establecer valores de vida media de los compuestos. Esta misma situación ocurre en el CASO B, donde además de establecer las concentraciones de la tabla anterior también habrá que establecer la vida media tal y como se comentó anteriormente. Los valores de vida media como resultados se presentan en la Tabla 15. Cabe recordar que estos datos de vida media son los predeterminados por el

programa, en estudios más precisos deberían llevarse a cabo análisis en laboratorio mediante muestras del suelo en la zona.

Tabla 15. Valores de vida media de los compuestos.

COMPUESTO	Zona saturada Factor de lixiviación (LF) (días)	Zona no saturada Vida Media (días)
Hexano, n-	50	
Naftaleno	1300	
Octanona	50	
Tolueno	140	
Etil benceno	1150	
Xileno, o-	1800	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	280	
Benceno	3600	
Metil t-butil éter (MTBE)	1800	

3.3.5. Análisis transitorio de Domenico.

3.3.5.1. CASO A: Ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación).

El análisis transitorio de Domenico nos facilita primeramente un resumen del modelo de Domenico para las rutas de exposición a las aguas subterráneas, esta pantalla de resultados resume las concentraciones de CDI en estado estacionario que se predice que ocurrirán en cada punto de exposición específico, los límites aplicables de exposición a los CDI en cada punto de exposición específico y el lapso de tiempo (si lo hubiera) en el cual se predice que se excederán estos límites de exposición según las condiciones específicas del sitio. Las rutas de exposición que se estudian son la ingestión de agua subterránea afectada por la lixiviación desde el suelo (Tabla 16) y la ingestión de agua subterránea sin lixiviación (Tabla 17).

Tabla 16. Resumen del modelo de Domenico para suelos lixiviando a agua subterránea (Caso A).

SUELOS LIXIVIANDO A AGUA SUBTERRÁNEA INGESTIÓN	1) Foco del suelo	2) Concentración de exposición en estado estacionario Agua subterránea: Conc. en el PDE (mg/L)		3) Concentración límite en PDE Agua subterránea: Conc. del PDE (mg/L)		4) Tiempo para alcanzar conc. límite en PDE ¿Llegó a conc. límite? (■ si es SI); Tiempo (años)	
	Conc. (mg/kg)	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
	Compuestos de Interés						
Hexano, n-	1,1E+2	3,7E-1		9,4E-1		□ NA	NA
Naftaleno	2,9E+1	3,9E-2		3,1E-1		□ NA	NA
Octanona	4,4E+1	6,3E-1		9,4E-1		□ NA	NA
Tolueno	1,7E+1	2,4E-1		1,3E+0		□ NA	NA
Etil benceno	1,7E+1	1,7E-1		1,6E+0		□ NA	NA
Xileno, o-	2,4E+1	3,6E-1		3,1E+1		□ NA	NA
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	2,9E-1		7,8E-1		□ NA	NA
Benceno	8,5E+0	2,5E-1		4,5E-2		■ 2,1E+2	NA
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	1,3E+0		1,6E-1		■ 1,0E+2	NA

Tabla 17. Resumen del modelo de Domenico para agua subterránea afectada (Caso A).

AGUA SUBTERRÁNEA INGESTIÓN	1) Foco del agua subT		2) Concentración de exposición en estado estacionario Aguas subterráneas: Conc. del PDE (mg/L)		3) Concentración límite en PDE Agua subterránea: Conc. en PDE (mg/L)		4) Tiempo para alcanzar conc. límite en PDE ¿Llegó a conc. límite? (■ = Si, □ = No); Tiempo (años)	
	Conc. (mg/L)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	
		Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	
Compuestos de Interés								
Hexano, n-	6,5E+0	5,9E-1		9,4E-1		□	NA	NA
Naftaleno	1,8E+0	1,6E-1		3,1E-1		□	NA	NA
Octanona	1,4E+1	1,3E+0		9,4E-1		■	4,9E+2	NA
Tolueno	5,3E+0	4,8E-1		1,3E+0		□	NA	NA
Etil benceno	1,1E+0	9,5E-2		1,6E+0		□	NA	NA
Xileno, o-	1,4E+0	1,3E-1		3,1E+1		□	NA	NA
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	7,2E-1		7,8E-1		□	NA	NA
Benceno	2,7E+0	2,4E-1		4,5E-2		■	2,1E+2	NA
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	3,3E-1		1,6E-1		■	1,2E+2	NA

Como se puede observar, en las tablas se superan las concentraciones límites de algunos de los compuestos para el punto situado fuera del sitio 1 (el pozo). De esta forma, mediante la tabla del análisis transitorio se evaluarán los compuestos que generan un riesgo teniendo en cuenta no sólo si se excederá un límite de exposición, sino cuándo puede ocurrir esa excedencia. Esta información resulta útil para la toma de decisiones sobre manejo de riesgos. Por ejemplo, podría ser indispensable una remediación inmediata con soluciones de ingeniería si se predice que se excederán en un futuro próximo los niveles seguros de exposición en el lugar donde está ubicado el receptor. Pero cuando no se espera que ocurra ningún impacto en muchos años, habrá tiempo suficiente para evaluar un enfoque de remediación alternativo, generalmente más barato y con un menor impacto.

Por tanto, como ya se ha mencionado, se va a proceder a tratar mediante la tabla de análisis transitorio los compuestos de interés que han superado la concentración límite usando dos gráficos que muestran las concentraciones en aguas subterráneas frente a la distancia desde el foco para un tiempo especificado de 10, 50, 100 y 130 años (según se requiera) y las concentraciones en agua subterránea frente al tiempo para una distancia específica de 200 metros desde el foco.

El mismo trato para el resto de los compuestos no es relevante para mencionar en este momento, sin embargo, los gráficos obtenidos tanto de los que superan la concentración límite como para que no lo hacen en el Caso A quedan reflejados en el **ANEXO 5**.

SUELOS AFECTADOS LIXIVIANDO A AGUAS SUBTERRÁNEAS

En el pozo establecido como elemento fuera del sitio 1, para suelos lixiviando a aguas subterráneas, los compuestos de interés que superaron la concentración límite fueron el benceno y el metil t-butil éter (MTBE).

- BENCENO

En primer lugar, se estudiará la tabla de “Concentración vs. Distancia desde el foco”. Al lado de la tabla de valores para el gráfico están las concentraciones estimadas del CDI en cuestión en cada punto de exposición ubicado fuera del sitio, así como los límites de exposición en cada punto de exposición. Cuando se indica que un valor no aplica, “NA”, significa que se estima que el CDI nunca excederá el límite de exposición para ese punto de exposición.

Si en primer lugar se observa el gráfico de mayor tiempo (Gráfico 2) se puede ver que a los 130 años el benceno aún no llega al estado estacionario a los 500 metros de distancia donde se localiza el pozo, debido a que tarda 211,4 años en alcanzar la concentración límite tal y como se ve en el Gráfico 4 de “concentración vs tiempo” de más adelante.

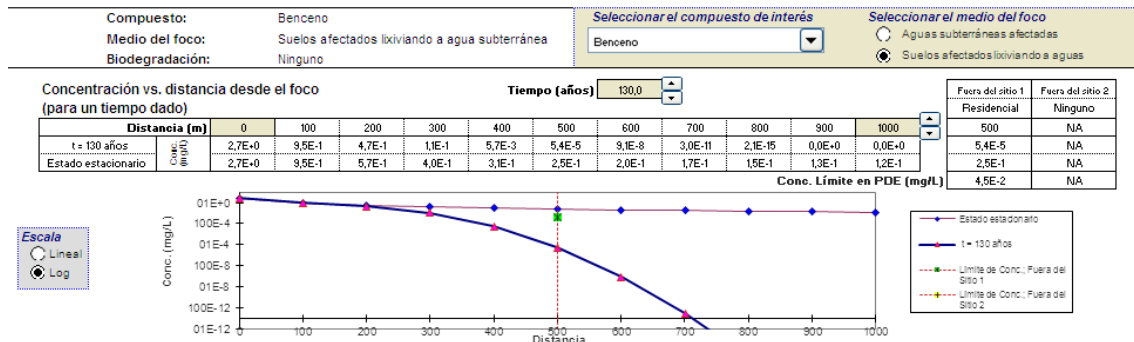


Gráfico 2. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

Al tardar tanto tiempo en llegar al estado estacionario se pueden tomar medidas de remediación que también sean más lentas, pero menos agresivas con el medio como por ejemplo una bioremediación en el caso del pozo, sin embargo, en el Gráfico 3 se puede observar que a los 50 años a la distancia de 100 metros ya se ha llegado a la concentración límite, por lo que sería necesario mantener un control en zonas más circundantes.

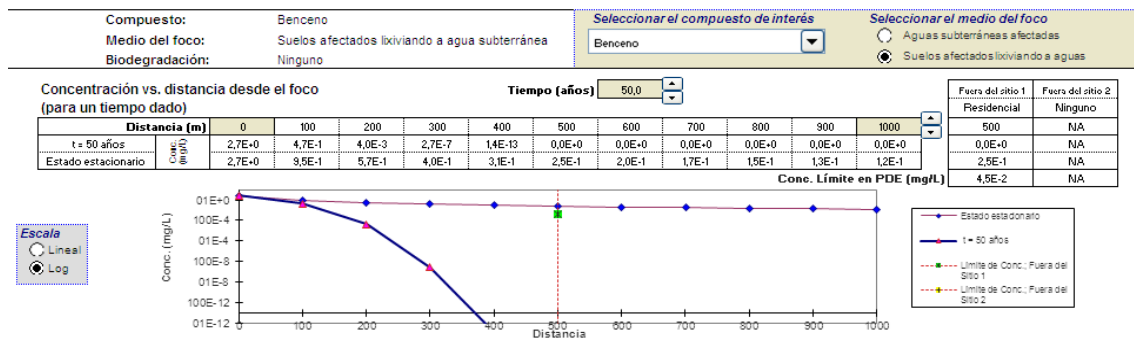


Gráfico 3. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).

Como ya se ha mencionado, junto a la tabla de valores para el gráfico de “Concentración vs. tiempo” están los tiempos estimados en los que se alcanzarán los límites de concentración del CDI en cuestión en cada punto de exposición. Por otro lado, de este mismo gráfico no habría nada más que mencionar puesto que se trata de un gráfico a mitad distancia entre el foco y el pozo para monitorear lo que ocurre a esta distancia a lo largo de 50 años. De esta forma, en el periodo de 50 años a los 200 metros del foco no se llega a la concentración límite, aunque la zona sí que presenta contaminación a partir de los 15 años del vertido y cuya concentración es cada vez mayor con el tiempo.

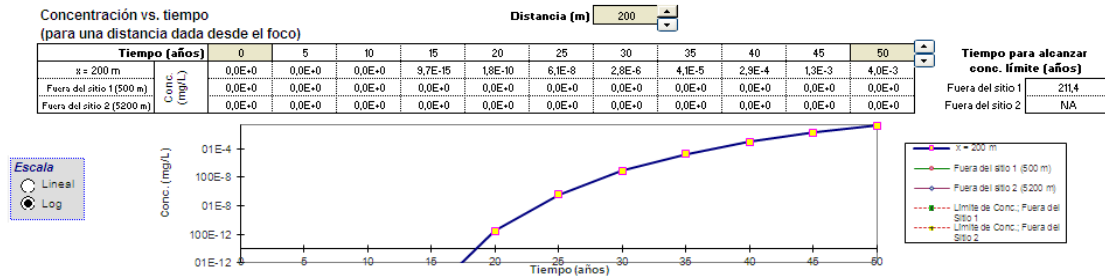


Gráfico 4. Concentración del benceno vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

- MTBE

Respecto al Metil t-butil éter no es necesario usar la gráfica de mayor tiempo de estudio ya que a los 100 años (Gráfico 5) ya se alcanza la concentración límite, concretamente se alcanza a los 99,6 años.

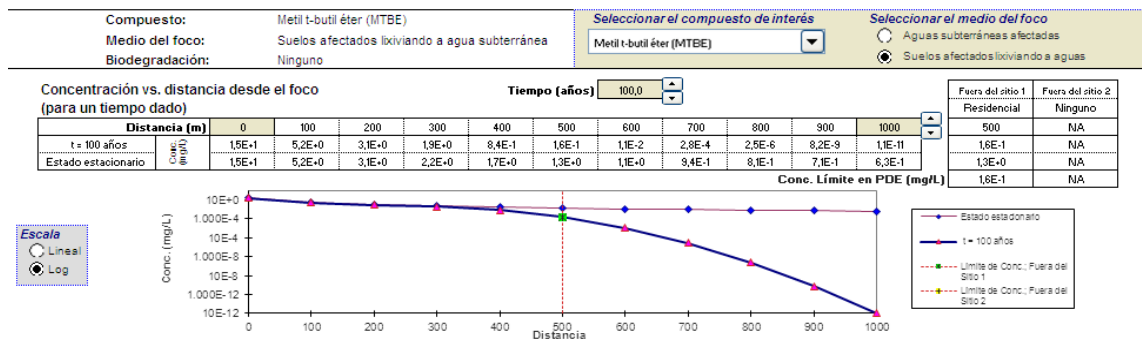


Gráfico 5. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).

Por otra parte, se pueden usar las gráficas de menor periodo de tiempo, por ejemplo, en caso de que se abriera un nuevo pozo entre el foco y el actual pozo. Supongamos que se desea abrir un nuevo pozo para cualquier tipo de abastecimiento (tanto residencial, como industrial, como de uso de regadío) a lo largo de los siguientes años de que se haya producido el vertido, si este pozo se estableciera a una distancia aproximadamente de 200 metros, este mismo alcanzaría la concentración límite a los 50 años desde el vertido, tal y como se ve en el Gráfico 6, generando un riesgo en menor tiempo y el cual debería remediarse cuanto antes para evitar la aparición paulatina de problemas.

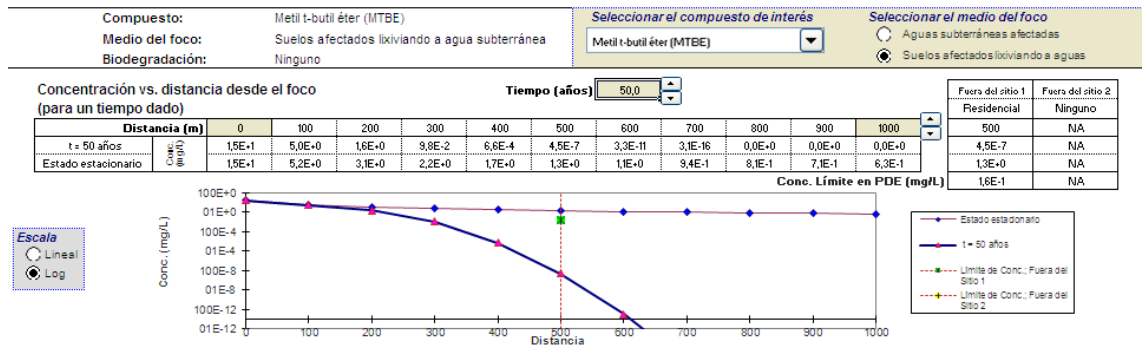


Gráfico 6. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).

De esta forma, para mayor desglose de esta situación ejemplo, se puede observar el Gráfico 7 de “Concentración vs. tiempo”, donde se observa que a los 45 años la concentración ya se encuentra por encima del nivel permitido a la distancia de 200 metros en la que se encontraría este supuesto nuevo pozo.

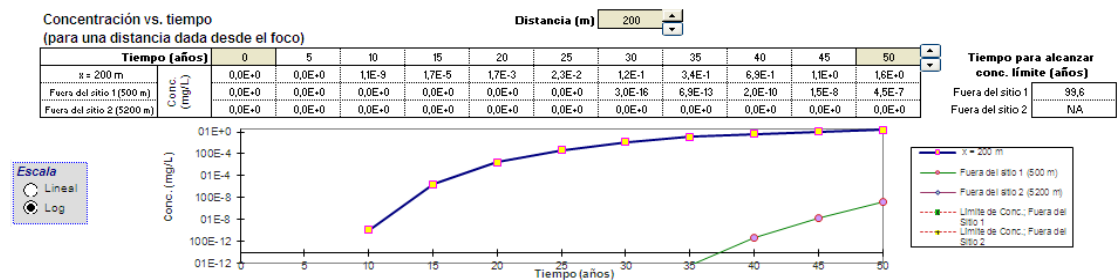


Gráfico 7. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS

En el pozo establecido como elemento fuera del sitio 1, para aguas subterráneas afectadas los compuestos de interés que superaron la concentración límite fueron el benceno, el metil t-butil éter (MTBE) y la octanona. Estos gráficos mostrarán el tiempo que tarda en llegar a la concentración límite en el punto deseado sin que el contaminante cuente con el apoyo del lixiviado desde el suelo.

- BENCENO

En el Gráfico 8 se observa que en la zona del pozo a los 500 metros no se ha llegado al estado estacionario en el periodo de tiempo más largo del cual se posee un tabla (130 años), debido a que de acuerdo con el cuadro de la derecha del Gráfico 9 el tiempo para alcanzar la concentración límite es de 212,2 años, no mucho mayor que el observado sumando el lixiviado del suelo (este era de 211,4 años), por lo que se deduce que esta

cantidad de lixiviado no es muy grande, con lo que habrá que descontaminar tanto suelo como agua ya que esta última tiene suficiente concentración para generar un riesgo por sí misma.

Hay ocasiones que con descontaminar el suelo y evitar el lixiviado es suficiente para evitar cualquier riesgo, pero queda probado que este no es el caso.

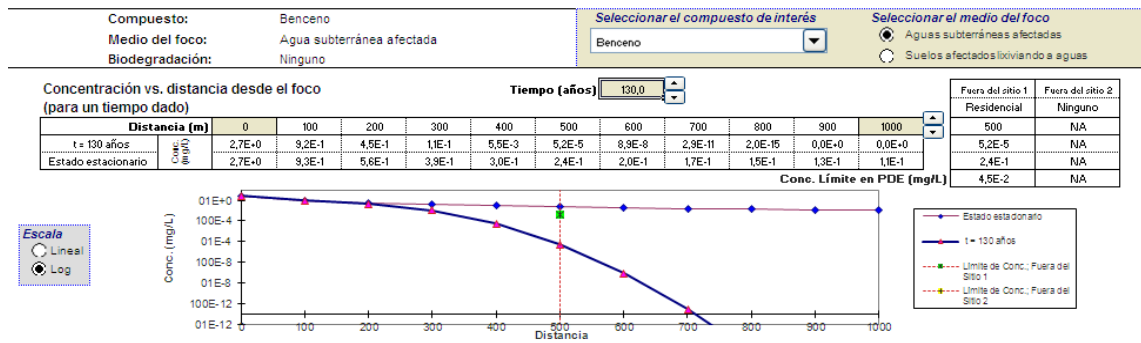


Gráfico 8. Concentración del benceno vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

Al igual que se ha comentado para el benceno en el apartado anterior, en el periodo de 50 años a los 200 metros del foco no se llega a la concentración límite, aunque la zona sí que presenta contaminación a partir de los 15 años del vertido. La concentración que presenta a los 15 años es la misma que presentaba en el anterior caso en el que se sumaban los lixiviados del suelo, por lo que se puede comprobar la importancia de las aguas subterráneas contaminadas.

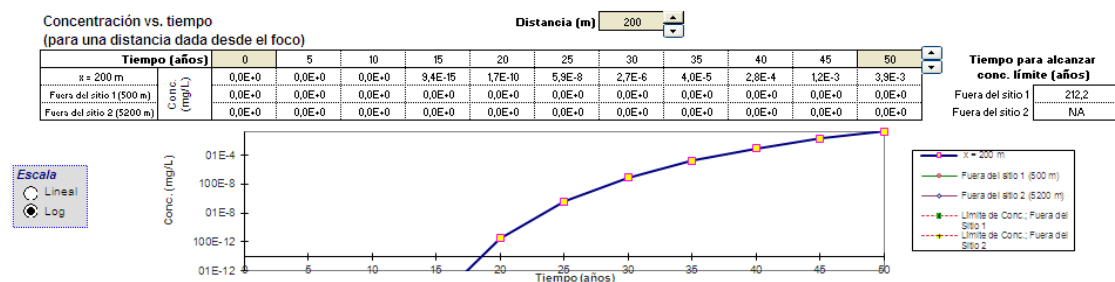


Gráfico 9. Concentración del benceno vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

- **MTBE**

Para el metil t-butil éter, al contrario que en el caso anterior en el que se sumaba el lixiviado del suelo, en esta ocasión sí que es necesario usar la gráfica de mayor tiempo para observar que se ha llegado a la concentración límite (Gráfico 10) ya que, al no contar con el aporte del suelo, tarda unos 23 años más en llegar a la concentración límite, concretamente tarda 123,3 años en alcanzarla, al contrario que en el caso anterior donde se alcanzaba a los 99,6 años. Se observa que el aporte de MTBE por

parte del suelo en esta ocasión sí que tiene un papel más importante al contrario de lo que ocurría con el benceno.

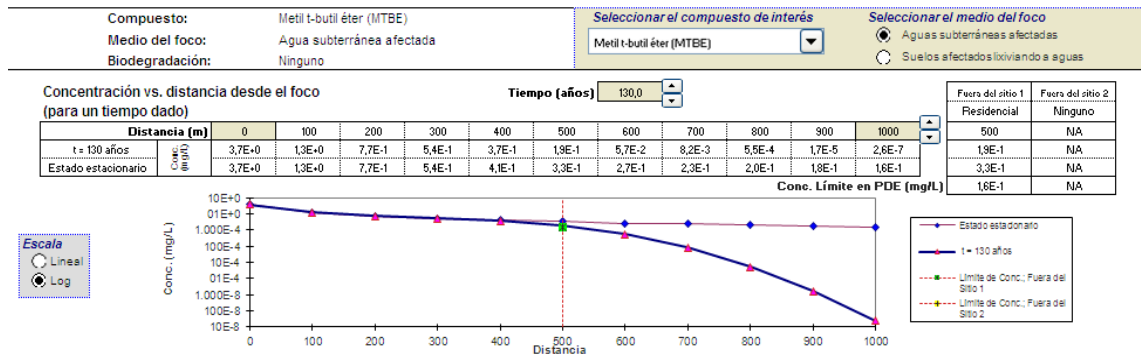


Gráfico 10. Concentración del MTBE vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

Por otra parte, en el ejemplo del caso de que se abriera un nuevo pozo entre el foco y el actual pozo a una distancia de unos 200 metros (Gráfico 11), donde anteriormente se observaba que se alcanzaba la concentración límite en 45 años en dicho pozo, en este caso en el periodo de 50 años nunca se llega a la concentración límite por la falta del lixiviado.

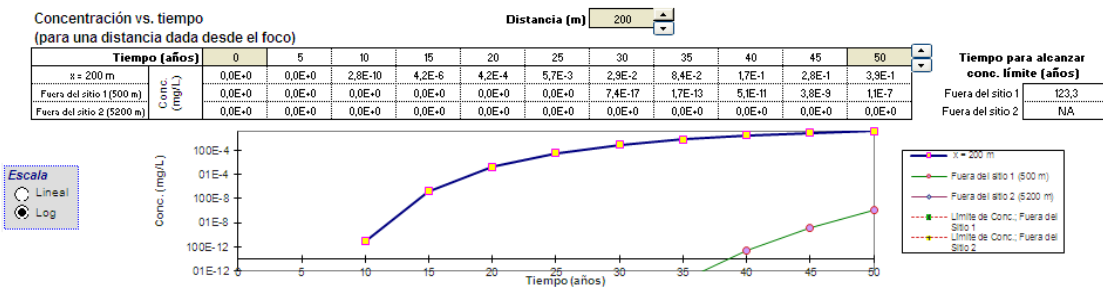


Gráfico 11. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

- OCTANONA

En esta ocasión, para el agua subterránea afectada, la octanona también aparece como riesgo en que se llega a la concentración límite. El transporte de la octanona es mucho más lento que cualquier otro compuesto visto hasta el momento, presentando apenas concentración en la gráfica de mayor tiempo dado de 130 años (Gráfico 12), tardando 489,9 años en alcanzar la concentración límite. Este compuesto implica un riesgo como es obvio, sin embargo, es un riesgo a muy largo plazo por lo que puede ser abordado con calma y con las mejores técnicas posibles.

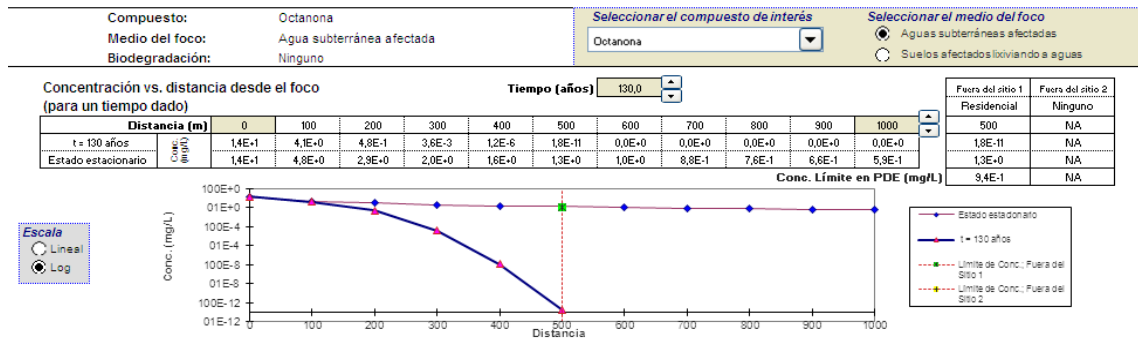


Gráfico 12. Concentración de la octanona vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

Por último, como curiosidad se comentará que, de acuerdo con el Gráfico 13, a una distancia de 200 metros no aparecería concentración hasta los 25 años desde el vertido.

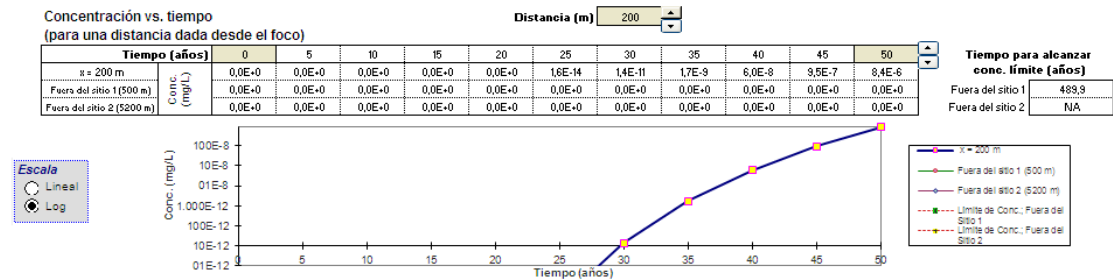


Gráfico 13. Concentración del MTBE vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

3.3.5.2. CASO B: Ecuación de Domenico con degradación de primer orden.

Una vez finalizado el primer caso de estudio sin biodegradación se procede al análisis de la ecuación de Domenico siendo afectado por degradación de primer orden. En esta ocasión, tanto para las rutas por ingestión de suelos lixiviando a agua subterránea (Tabla 18) como para las rutas de ingestión a agua subterránea (Tabla 19) no se presenta ningún riesgo por superarse la concentración límite en la zona del pozo debido a los procesos de degradación natural que van sucediendo en el suelo con el tiempo, al contrario de lo que ocurrió para el caso sin biodegradación. De esta forma, los compuestos se van degradando con los años hasta llegar al punto de no presentar riesgo, tal y como se indica en las tablas con las siglas “NA”, lo que significa que se estima que el CDI nunca excederá el límite de exposición para ese punto.

Esto puede ocurrir debido a que, como se indicaba en el caso anterior sin biodegradación, la concentración límite se superaba en tiempos superiores a un siglo, tiempo suficiente para que biodegradación actúe.

Tabla 18. Resumen del modelo de Domenico para suelos lixiviando a agua subterránea (Caso B).

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA FUERA DEL SITIO							
■ (Marcado si la ruta está completa)							
SUELOS LIXIVIANDO A AGUA SUBTERRÁNEA							
INGESTIÓN	1) Foco del suelo	2) Concentración de exposición en estado estacionario		3) Concentración límite en PDE		4) Tiempo para alcanzar conc. límite en PDE	
	Conc. (mg/kg)	Agua subterránea: Conc. en el PDE (mg/L)		Agua subterránea: Conc. en PDE (mg/L)		¿Llegó a conc. límite? (■ si es Sí); Tiempo (años)	
Compuestos de Interés		Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
Hexano, n-	1,1E+2	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Naftaleno	2,9E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Octanona	4,4E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Tolueno	1,7E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Etil benceno	1,7E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Xileno, o-	2,4E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Benceno	8,5E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA

Tabla 19. Resumen del modelo de Domenico para agua subterránea afectada (Caso B).

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA FUERA DEL SITIO							
■ (Marcado si la ruta está completa)							
AGUA SUBTERRÁNEA							
INGESTIÓN	1) Foco del agua subter.	2) Concentración de exposición en estado estacionario		3) Concentración límite en PDE		4) Tiempo para alcanzar conc. límite en PDE	
	Conc. (mg/L)	Agua subterráneas: Conc. en PDE (mg/L)		Agua subterránea: Conc. en PDE (mg/L)		¿Llegó a conc. límite? (■ si es Sí); Tiempo (años)	
Compuestos de Interés		Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
Hexano, n-	6,5E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Naftaleno	1,8E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Octanona	1,4E+1	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Tolueno	5,3E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Etil benceno	1,1E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Xileno, o-	1,4E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Benceno	2,7E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	Residencial	Ninguno	Residencial	Ninguno	<input type="checkbox"/>	NA

El mismo trato para los compuestos que se llevó a cabo para el Caso A se va a llevar a cabo para este nuevo caso, para de esta forma se pueda comparar ambos escenarios con distinta modelación en lo referente a las concentraciones en aguas subterráneas frente a la distancia desde el foco para un tiempo especificado de 10, 50, 100 y 130 años y las concentraciones en agua subterránea frente al tiempo para una distancia específica de 200 metros desde el foco. Las tablas quedan recogidas en el **ANEXO 6**.

3.3.6. Línea base de riesgos.

3.3.6.1. CASO A: Ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación).

Una vez toda la información necesaria se ha introducido en el modelo se puede acceder a la línea base de riesgos y a los niveles de limpieza (los cuales se verán en el apartado siguiente). Desde la pantalla de línea base de riesgos se puede seleccionar entre ver los valores por cada ruta o un resumen con todas las rutas de exposición, por lo que se procederá al análisis de la línea base de riesgos de la siguiente forma:

Primeramente, se mostrará la tabla donde están resumidos los valores de la línea base de riesgo para todas las rutas de exposición aplicables (Tabla 20). En ella un cuadrado rojo señala las rutas de exposición para las cuales se estima que se excederán los límites de riesgos aceptables tanto para riesgos cancerígenos como para efectos tóxicos.

Tabla 20. Resumen de línea base de riesgos del Caso A.

RESUMEN DE LÍNEA BASE DE RIESGOS										
RUTA DE EXPOSICIÓN	LÍNEA BASE DE RIESGO CANCERIGENO					LÍNEA BASE DE EFECTOS TÓXICOS				
	Riesgo por cada CDI		Riesgo acumulativo de los CDI		¿Se excede(n) límite(s) de riesgo(s)?	Cociente de peligro por cada CDI		Índice de peligro acumulativo		¿Se excede(n) límite(s) de toxicidad?
	Valor máximo	Riesgo aceptable	Valor total	Riesgo aceptable		Valor máximo	Límite aplicable	Valor total	Límite aplicable	
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,0E-7	1,0E-5	2,1E-7	1,0E-5	□	2,0E-2	1,0E+0	3,3E-2	1,0E+0	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,7E-6	1,0E-5	2,7E-6	1,0E-5	□	3,9E+0	1,0E+0	2,7E+0	1,0E+0	■
RUTAS DE EXPOSICIÓN A SUELO										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,9E-7	1,0E-5	3,4E-7	1,0E-5	□	3,4E-2	1,0E+0	1,5E-1	1,0E+0	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA										
¿RUTA COMPLETA? ■	5,5E-5	1,0E-5	9,1E-5	1,0E-5	■	8,6E+0	1,0E+0	1,6E+1	1,0E+0	■
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUPERFICIAL										
¿RUTA COMPLETA? □	NA	NA	NA	NA	□	NA	NA	NA	NA	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN CRÍTICAS (valores máximos generados para las rutas completas)										
	5,5E-5	1,0E-5	9,1E-5	1,0E-5	■	8,6E+0	1,0E+0	1,6E+1	1,0E+0	■
	Agua subterránea		Agua subterránea			Agua subterránea		Agua subterránea		

NA = No aplica (ruta inactiva); NC = No calculado

Conociendo las rutas de exposición en las que se excederán los límites se puede pasar al segundo paso, en el que se estudiará el motivo de que se excedan los límites de riesgos o de toxicidad mediante las tablas de valores por rutas. De esta forma, a continuación, se expondrán las tablas necesarias para dar una explicación a este exceso de concentración de contaminante, mientras que el resto de tablas (inclusive las usadas para la explicación) obtenidas para todas las rutas de exposición quedarán recogidas en el **ANEXO 7**.

Tal y como se observa en la tabla resumen, el primer riesgo que se encuentra en la línea de base de efectos tóxicos de la ruta de exposición a aire interior, donde se exceden los límites de toxicidad. De acuerdo a esta tabla resumen, el valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de 3,9E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al n-hexano en el uso residencial fuera del sitio 1 como se puede ver en la Tabla 21; mientras que el valor total para el índice de peligro acumulativo es de 2,7E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al índice de peligro acumulativo en el sitio de la Tabla 21.

Por otro lado, como se puede observar en tabla siguiente, el compuesto que genera prácticamente todo el riesgo es el hexano ya que es la mayor parte del sumatorio del índice de peligro acumulativo en el sitio y fuera del sitio 1 (zona residencial localizada a 80 metros).

Tabla 21. Efectos tóxicos para las rutas de exposición de aire interior (Caso A).

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN								
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)								
Compuestos de Interés	EFECTOS TÓXICOS							
	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)			(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)			
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	
Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial		
Hexano, n-	1,5E+0	2,6E+0	5,3E-1	6,7E-1	2,3E+0	3,9E+0	7,9E-1	
Naftaleno	7,0E-5	1,4E-4	2,8E-5	3,0E-3	2,3E-2	4,6E-2	9,3E-3	
Octanona	1,8E-4	3,5E-4	7,0E-5	1,8E+1	9,8E-6	1,9E-5	3,9E-6	
Tolueno	3,7E-3	6,4E-3	1,3E-3	4,1E+0	9,1E-4	1,6E-3	3,1E-4	
Etil benceno	2,7E-3	2,3E-3	4,6E-4	1,9E+0	1,4E-3	1,2E-3	2,4E-4	
Xileno, o-	1,6E-5	2,0E-5	4,1E-6	6,1E-1	2,5E-5	3,3E-5	6,7E-6	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	4,8E-3	9,7E-4	7,0E-3	3,5E-1	6,9E-1	1,4E-1	
Benceno	3,2E-3	2,8E-3	5,7E-4	2,8E-1	1,1E-2	1,0E-2	2,0E-3	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,7E-3	2,1E-3	4,2E-4	3,0E+0	5,7E-4	6,9E-4	1,4E-4	
Índice de peligro acumulativo =					2,7E+0	4,7E+0	9,4E-1	

En segundo lugar, el siguiente riesgo que se observa se encuentra en la línea de base de riesgo cancerígeno de la ruta de exposición a agua subterránea, donde se exceden los límites de riesgos. De acuerdo a la Tabla 20 resumen, el valor máximo de riesgo por compuesto es de 5,5E-5 (donde el límite aplicable es de 1,0E-5), este valor pertenece al benceno en el pozo fuera del sitio 1 como se puede ver en la Tabla 22 de más adelante; mientras que el valor total de riesgo acumulativo de los compuestos es de 9,1E-5 (donde el límite aplicable es de 1,0E-5), este valor es el riesgo acumulativo de cáncer fuera del sitio 1 de la tabla siguiente.

Cabe destacar que, tanto el benceno como el MTBE, superan por sí mismos el límite aplicable (el benceno tiene un riesgo de 5,5E-5 y el MTBE tiene un riesgo de 3,6E-5), por lo que sería necesario una descontaminación conjunta de ambos.

Tabla 22. Riesgo cancerígeno para las rutas de exposición a agua subterránea (Caso A).

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2								
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)								
Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)			(3) Factor de pendiente oral (mg/kg-day) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI (2) x (3)		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
		Ninguno	Residencial	Ninguno		Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-	FALSO				-			
Naftaleno	FALSO				-			
Octanona	FALSO				-			
Tolueno	FALSO				-			
Etil benceno	FALSO				-			
Xileno, o-	FALSO				-			
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO				-			
Benceno	VERDADERO		3,7E-3		1,5E-2		5,5E-5	
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO		2,0E-2		1,8E-3		3,6E-5	
Riesgo acumulativo de cáncer =						9,1E-5		

En tercer lugar, el último riesgo que se observa se encuentra en la línea de base de efectos tóxicos de la ruta de exposición a agua subterránea, donde se exceden los límites de toxicidad. De acuerdo a la tabla 20, el valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de 8,6E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al MTBE en el área del pozo fuera del sitio 1 como se puede ver en la Tabla 23; mientras que el valor total para el índice de peligro acumulativo es de 1,6E+1 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al índice de peligro acumulativo fuera del sitio 1 de la Tabla 23.

Por último, hay que mencionar que en esta ocasión los compuestos que generan el peligro son la octanona, el benceno y el MTBE (entre los tres representan el 86,25% del peligro acumulativo total), ya que cada uno por separado supera el límite aplicable y serían los primeros a tener en cuenta en la remediación. Sin embargo, no se puede obviar los otros compuestos que, aun teniendo concentraciones menores, la suma de todos ellos también supera el límite aplicable. En este caso sería necesario contemplar una depuración del suelo de todos los compuestos en diferentes medidas.

Tabla 23. Efectos tóxicos para las rutas de exposición a agua subterránea (Caso A).

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2								
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)								
Compuestos de Interés	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)			(6) Dosis de referencia oral (mg/kg/día)	(7) Cociente de peligro por cada CDI (5) / (6)			
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	
	Ninguno	Residencial	Ninguno		Ninguno	Residencial	Ninguno	
Hexano, n-		3,7E-2		6,0E-2		6,2E-1		
Naftaleno		1,0E-2		2,0E-2		5,1E-1		
Octanona		8,0E-2		6,0E-2		1,3E+0		
Tolueno		3,1E-2		8,0E-2		3,8E-1		
Etil benceno		1,1E-2		1,0E-1		1,1E-1		
Xileno, o-		2,3E-2		2,0E+0		1,2E-2		
Trimetilbenceno, 1,2,4-		4,6E-2		5,0E-2		9,2E-1		
Benceno		1,6E-2		4,0E-3		3,9E+0		
Metil t-butil éter (MTBE)		8,6E-2		1,0E-2		8,6E+0		
Índice de peligro acumulativo =							1,6E+1	

3.3.6.2. CASO B: Ecuación de Domenico con degradación de primer orden.

Tras evaluar la línea base de riesgos mediante el análisis de alternativas del CASO B se encontró un escenario totalmente distinto en el que se presentaban menos riesgos a tener en cuenta, afectando únicamente a la línea base de efectos tóxicos. Dicho esto, a continuación, está la tabla donde están resumidos los valores de la línea base de riesgo para todas las rutas de exposición aplicables (Tabla 24).

Tabla 24. Resumen de línea base de riesgos del Caso B.

RESUMEN DE LÍNEA BASE DE RIESGOS										
RUTA DE EXPOSICIÓN	LÍNEA BASE DE RIESGO CANCERIGENO					LÍNEA BASE DE EFECTOS TÓXICOS				
	Riesgo por cada CDI		Riesgo acumulativo de los CDI		¿Se excede(n) límite(s) de riesgo(s)?	Cociente de peligro por cada CDI		Índice de peligro acumulativo		¿Se excede(n) límite(s) de toxicidad?
	Valor máximo	Riesgo aceptable	Valor total	Riesgo aceptable		Valor máximo	Límite aplicable	Valor total	Límite aplicable	
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,0E-7	1,0E-5	2,1E-7	1,0E-5	□	2,0E+0	1,0E+0	3,3E-2	1,0E+0	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,5E-6	1,0E-5	2,7E-6	1,0E-5	□	2,3E+0	1,0E+0	2,7E+0	1,0E+0	■
RUTAS DE EXPOSICIÓN A SUELO										
¿RUTA COMPLETA? ■	2,9E-7	1,0E-5	3,4E-7	1,0E-5	□	3,4E-2	1,0E+0	1,5E-1	1,0E+0	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA										
¿RUTA COMPLETA? ■	4,3E-11	1,0E-5	7,2E-11	1,0E-5	□	7,1E-6	1,0E+0	1,0E-5	1,0E+0	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUPERFICIAL										
¿RUTA COMPLETA? □	NA	NA	NA	NA	□	NA	NA	NA	NA	□
RUTAS DE EXPOSICIÓN CRÍTICAS (valores máximos generados para las rutas completas)										
	2,5E-6	1,0E-5	2,7E-6	1,0E-5	□	2,3E+0	1,0E+0	2,7E+0	1,0E+0	■
	Aire interior		Aire interior			Aire interior		Aire interior		

NA = No aplica (ruta inactiva); NC = No calculado

Observando la tabla, el único riesgo se encuentra en la línea de base de efectos tóxicos de la ruta de exposición a aire interior, donde se exceden los límites de toxicidad. En esta ocasión, el valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de 2,3E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al n-hexano localizado en el foco emisor de la contaminación (gasolinera) como se puede ver en la Tabla 25; mientras que el valor total para el índice de peligro acumulativo es de 2,7E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al índice de peligro acumulativo en el sitio 1 de la Tabla 25.

El riesgo que mencionamos se debe a la presencia de contaminación por n-hexano, el cual representa casi la totalidad del índice de peligro acumulativo, por lo que este contaminante es sobre el que se deben ejercer más esfuerzos para eliminarlo.

Tabla 25. Efectos tóxicos para las rutas de exposición de aire interior (Caso B).

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN								
RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)								
Compuestos de Interés	EFECTOS TÓXICOS						(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)	
	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)			(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)			
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	
	Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial	
Hexano, n-	1,5E+0	1,4E-58	4,0E-85	6,7E-1	2,3E+0	2,1E-58	6,0E-85	
Naftaleno	7,0E-5	4,1E-22	5,5E-31	3,0E-3	2,3E-2	1,4E-19	1,8E-28	
Octanona	1,8E-4	1,2E-36	4,9E-52	1,8E+1	9,8E-6	6,5E-38	2,7E-53	
Tolueno	3,7E-3	7,6E-21	6,9E-30	4,1E+0	9,1E-4	1,9E-21	1,7E-30	
Etil benceno	2,7E-3	6,8E-9	2,1E-12	1,9E+0	1,4E-3	3,6E-9	1,1E-12	
Xileno, o-	1,6E-5	2,2E-8	1,1E-10	6,1E-1	2,5E-5	3,6E-8	1,9E-10	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	3,9E-35	2,4E-50	7,0E-3	3,5E-1	5,6E-33	3,4E-48	
Benceno	3,2E-3	2,3E-4	1,1E-5	2,8E-1	1,1E-2	8,1E-4	3,8E-5	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,7E-3	1,7E-4	7,9E-6	3,0E+0	5,7E-4	5,6E-5	2,6E-6	
Índice de peligro acumulativo =					2,7E+0	8,7E-4	4,1E-5	

3.3.7. Niveles de limpieza.

3.3.7.1. CASO A: Ecuación de Domenico con dispersión (sin biodegradación).

Finalmente, la última pantalla a la que se puede acceder en el apartado de resultados del RBCA son los niveles de limpieza, desde donde se pueden ver los niveles de limpieza según la matriz del foco (agua subterránea, suelos superficiales, subsuelo) o ver los niveles meta específicos del sitio (nivel de limpieza Tier 2 o Tier 3) según los efectos acumulativos de los riesgos (tabla de riesgos acumulativos).

1) Compuestos Individuales Según las Matrices Afectadas (todos los CDI).

Tras seleccionar la matriz de interés (Agua subterránea, Suelos superficiales o Subsuelos), la pantalla de resultados muestra un resumen con los niveles de limpieza calculados para todos los CDI según la matriz seleccionada.

Como se puede observar en la página siguiente, en la Tabla 26 se encuentra el resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea. En ella encontramos los resultados obtenidos para el agua subterránea por ingestión que afectaría al pozo a 500 metros y la volatilización de agua subterránea tanto a aire interior como exterior a la zona residencial y comercial que hay en las proximidades de la gasolinera. Además, el programa indica que compuestos han superado los niveles (en este caso son el hexano, la octanona, el benceno y el MTBE), para los cuales se proponen en la misma tabla los factores de reducción del compuesto que necesitan en lo referente a agua subterránea.

Así mismo, en la Tabla 27 está el resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo. En esta ocasión, el resumen de los resultados está separado en suelo lixiviando a agua subterránea por ingestión, en volatilización del agua subterránea a aire interior y en volatilización del suelo tanto a aire interior como a aire exterior. Por parte del subsuelo, los límites se superan en el hexano, el benceno y el MTBE, y al igual que en la tabla anterior, se proponen factores de reducción para alcanzar los límites permitidos.

Tabla 26. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea (CASO A).

AGUA SUBTERRÁNEA: RESULTADOS DE SSTL			Riesgo aceptable 1,0E-5 Cociente de peligro aceptable 1,0									Opción DAF de agua sub.: Dominico - Sin degradación (dispersión vert. mono-direccional)		
			SSTL Resultados para rutas de exposición completas (Marcado si la ruta está completa)											
No. CAS	Nombre	Concentración representativa (mg/L)	Agua subterránea ingestión			Volatilización de agua subterránea a aire interior			Volatilización de agua subterránea a aire exterior			SSTL aplicable (mg/L)	¿Se excedió el SSTL? ■ = Si	CRF requerido Sólo cuando aparece "si"
			En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)			
110-54-3	Hexano, n-	6,5E+0	Ninguno	1,0E+1	Ninguno	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial	1,6E+0	■	3,9E+0
91-20-3	Naftaleno	1,8E+0		3,5E+0		>3.1E+1	>3.1E+1	>3.1E+1	>3.1E+1	>3.1E+1	>3.1E+1	3,5E+0	□	<1
106-68-3	Octanona	1,4E+1		1,0E+1		>1.7E+3	>1.7E+3	>1.7E+3	>1.7E+3	>1.7E+3	>1.7E+3	1,0E+1	■	1,3E+0
108-88-3	Tolueno	5,3E+0		1,4E+1		>5.3E+2	>5.3E+2	>5.3E+2	>5.3E+2	>5.3E+2	>5.3E+2	1,4E+1	□	<1
100-41-4	Etil benceno	1,1E+0		1,7E+1		>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	>1.7E+2	1,7E+1	□	<1
95-47-6	Xileno, o-	1,4E+0		>1.8E+2		>1.8E+2	>1.8E+2	>1.8E+2	>1.8E+2	>1.8E+2	>1.8E+2	>178E+0	□	NA
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0		8,7E+0		2,3E+1	1,2E+1	>5.7E+1	>5.7E+1	>5.7E+1	>5.7E+1	8,7E+0	□	<1
71-43-2	Benceno	2,7E+0		5,0E-1		2,4E+1	1,0E+1	6,1E+1	>1.8E+3	>1.8E+3	>1.8E+3	5,0E-1	■	5,4E+0
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0		1,7E+0		1,5E+3	6,4E+2	3,8E+3	>4.8E+4	>4.8E+4	>4.8E+4	1,7E+0	■	2,1E+0

> indica que la concentración aceptable basada en riesgo es mayor que el valor de solubilidad del componente. NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto

Tabla 27. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo (CASO A).

SUBSUELO (2 - 10 m) RESULTADOS DE SSTL			Riesgo aceptable 1,0E-5 Cociente de peligro aceptable 1,0									Opción FAD de agua sub.: Dominico - Sin degradación (dispersión vert. mono-direccional)			
			SSTL Resultados para rutas de exposición completas (Marcado si la ruta está completa)												
No. CAS	Nombre	Concentración representativa (mg/kg)	Suelo lixiviando a agua subterránea ingestión			Suelo lixiviando a agua subterránea/ Volatilización del agua subterránea a aire interior			Vol. del suelo a aire interior	Volatilización del suelo a aire exterior			SSTL aplicable (mg/kg)	¿Se excedió el SSTL? ■ = Si	CRF requerido Sólo cuando aparece "si"
			En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)			
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2		2,7E+2		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial	4,3E+1	■	2,5E+0	
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1		2,4E+2		>1.8E+3	>1.8E+3	>1.8E+3	>1.8E+3	>1.8E+3	>1.8E+3	2,4E+2	□	<1	
106-68-3	Octanona	4,4E+1		6,6E+1		>8.7E+3	>8.7E+3	>8.7E+3	>8.7E+3	>8.7E+3	>8.7E+3	6,6E+1	□	<1	
108-88-3	Tolueno	1,7E+1		8,9E+1		>2.8E+3	>2.8E+3	>2.8E+3	>2.8E+3	>2.8E+3	>2.8E+3	8,9E+1	□	<1	
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1		1,6E+2		>1.3E+3	>1.3E+3	>1.3E+3	>1.3E+3	>1.3E+3	>1.3E+3	1,6E+2	□	<1	
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1		>8.6E+2		>8.6E+2	>8.6E+2	>8.6E+2	>8.6E+2	>8.6E+2	>8.6E+2	>861E+0	□	<1	
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2		3,6E+2		9,4E+2	4,8E+2	>1.9E+3	4,4E+2	>1.9E+3	>1.9E+3	3,6E+2	□	<1	
71-43-2	Benceno	8,5E+0		1,5E+0		7,6E+1	3,2E+1	1,9E+2	3,4E+1	7,3E+2	4,3E+2	7,3E+2	1,5E+0	■	5,5E+0
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1		1,4E+0		1,2E+3	5,1E+2	3,0E+3	7,5E+2	1,4E+4	8,0E+3	1,4E+4	1,4E+0	■	8,6E+0

> indica que la concentración aceptable basada en riesgo es mayor que el valor de saturación del componente. NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto

2) Tabla de riesgos acumulativos

Para poder calcular los niveles de limpieza basados en los efectos del riesgo acumulativo, en este apartado de resultados está implementada una hoja de cálculo de riesgos acumulativo que sirve para ajustar los niveles aceptables para cada compuesto, con el fin de cumplir las metas pautadas para los riesgos acumulativos. Si se excede el límite de riesgo acumulativo en un medio de exposición dado quedará indicado por un cuadrado rojo colocado al lado de un valor de riesgo que exceda el valor aceptable, tal y como se podrá ver en las tablas de a continuación. Si se da este caso, es posible ajustar los factores de reducción del componente (los CRF, es decir, la concentración representativa del compuesto de interés dividida entre la concentración aceptable que sea aplicable) de todos o de alguno de los compuestos de forma selectiva, hasta lograr el nivel de riesgo acumulativo deseado.

El proceso que se va a llevar a cabo para usar esta hoja de cálculo es el siguiente:

- Mediante las Tablas 28 y 29, que corresponde a los riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción, se identificarán cuáles son las rutas de exposición exceden las metas de riesgo establecidas. Este no es el caso, pero si no hubiera excesos en ninguno de los componentes o límites acumulativos de riesgos, el análisis concluye, y las concentraciones aceptables por cada componente representan los niveles de limpieza aplicables.
- Una vez identificados, si un riesgo acumulativo o individual excede el límite aplicable, hay que bajar los límites de concentración de cada componente y recalcular los riesgos hasta lograr todas y cada una de las metas de riesgo pautadas en todos los medios de exposición. Para ello se determinarán los CRF idóneos para suelo y agua subterránea que se requieran para alcanzar los riesgos aceptables ya definidos para esas rutas. Una vez que todos los totales de riesgo individual y acumulativo cumplan con los límites aplicables, las concentraciones aceptables resultantes se visualizan junto a las columnas de ingreso de CRF en las Tablas 30 y 31.

De esta forma, de acuerdo con el primer paso se debe identificar cuáles son las rutas de exposición que presentan algún riesgo. Observando la Tabla 26 se encuentra que el nivel de riesgo excede el riesgo aceptable en el cociente de peligro de la exposición a aire interior en los receptores en el sitio del sector comercial con un cociente de $2,7E+0$ (donde el cociente de peligro aceptable es de $1E+0$), en el riesgo aceptable de la exposición a agua subterránea en los receptores fuera del sitio en la zona del pozo con un riesgo de exceso de cáncer de $9,1E-5$ (donde el riesgo aceptable es de $1E-8$) y en el cociente de peligro de la exposición a aguan subterránea del mismo, con un cociente de peligro de $1,6E+1$ (donde el cociente aceptable es de $1E+0$).

Finalizada la identificación de las rutas con riesgos, se recalcularán de forma iterativa los riesgos hasta lograr todas y cada una de las metas de riesgo pautadas en todos los medios de exposición. El CRF propuesto está recogido en las Tablas 30 y 31 junto con la concentración aceptable resultante tanto en el suelo como en agua.

Tabla 28. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO A). Parte 1.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO								Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0							
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda								RECEPTORES EN EL SITIO							
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior: Comercial		Exposición a aire interior: Comercial		Exposición a suelos: Residencial		Exposición a agua sub.: Ninguno	
		Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0
No. CAS	Nombre							Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	NA	NA	1,1E+2	6,5E+0	1,3E-2	1,3E-2	2,3E+0	2,3E+0	2,3E-2	2,3E-2		
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	NA	NA	2,9E+1	1,8E+0	4,7E-4	4,7E-4	2,3E-2	2,3E-2	3,3E-2	3,3E-2		
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	NA	NA	4,4E+1	1,4E+1	4,2E-7	4,2E-7	9,8E-6	9,8E-6	9,5E-3	9,5E-3		
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	NA	NA	1,7E+1	5,3E+0	4,3E-5	4,3E-5	9,1E-4	9,1E-4	2,7E-3	2,7E-3		
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	NA	NA	1,7E+1	1,1E+0	6,6E-5	6,6E-5	1,4E-3	1,4E-3	2,2E-3	2,2E-3		
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	NA	NA	2,4E+1	1,4E+0	1,9E-6	1,9E-6	2,5E-5	2,5E-5	1,5E-4	1,5E-4		
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	NA	NA	1,3E+2	8,0E+0	1,4E-2	1,4E-2	3,5E-1	3,5E-1	3,4E-2	3,4E-2		
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	NA	NA	8,5E+0	2,7E+0	1,2E-7	5,3E-4	2,5E-6	1,1E-2	2,9E-7	2,7E-2		
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	NA	NA	1,2E+1	3,7E+0	8,7E-9	3,1E-5	1,6E-7	5,7E-4	4,8E-8	1,5E-2		
Valores acumulativos								1,3E-7	2,8E-2	2,7E-6	2,7E+0 ■	3,4E-7	1,5E-1	0,0E+0	0,0E+0

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ Indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

Tabla 29. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO A). Parte 2.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO								Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0											
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda								RECEPTORES FUERA DEL SITIO											
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior: Residencial (80 m)		Exposición a aire exterior: Comercial (130 m)		Exposición a aire interior: Residencial (80 m)		Exposición a aire interior: Comercial (130 m)		Exposición a agua sub.: Residencial (500 m)		Exposición a agua sub.: Ninguno (5200 m)	
		Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0
No. CAS	Nombre							Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	NA	NA	1,1E+2	6,5E+0	1,2E-2	1,2E-2	8,2E-3	8,2E-3	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	6,2E-1	6,2E-1		
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	NA	NA	2,9E+1	1,8E+0	6,6E-4	6,6E-4	4,7E-4	4,7E-4	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	5,1E-1	5,1E-1		
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	NA	NA	4,4E+1	1,4E+1	5,8E-7	5,8E-7	4,2E-7	4,2E-7	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	1,3E+0	1,3E+0		
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	NA	NA	1,7E+1	5,3E+0	6,0E-5	6,0E-5	4,3E-5	4,3E-5	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	3,8E-1	3,8E-1		
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	NA	NA	1,7E+1	1,1E+0	9,3E-5	9,3E-5	6,6E-5	6,6E-5	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	1,1E-1	1,1E-1		
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	NA	NA	2,4E+1	1,4E+0	2,6E-6	2,6E-6	1,9E-6	1,9E-6	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	1,2E-2	1,2E-2		
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	NA	NA	1,3E+2	8,0E+0	2,0E-2	2,0E-2	1,4E-2	1,4E-2	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	9,2E-1	9,2E-1		
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	NA	NA	8,5E+0	2,7E+0	7,5E-4	7,5E-4	1,2E-7	5,3E-4	error	0,0E+0	error	0,0E+0	5,5E-5	3,9E+0		
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	NA	NA	1,2E+1	3,7E+0	1,5E-8	4,4E-5	8,7E-9	3,1E-5	error	0,0E+0	error	0,0E+0	3,6E-5	8,6E+0		
Valores acumulativos								2,1E-7	3,3E-2	1,3E-7	2,3E-2	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	9,1E-5 ■	1,6E+1 ■	0,0E+0	0,0E+0

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ Indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

Tabla 30. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO A). Parte 1.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO								Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0							
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda								RECEPTORES EN EL SITIO							
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior:		Exposición a aire interior:		Exposición a suelos:		Exposición a agua sub.:	
		Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0
No. CAS	Nombre							Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	4,0E+0	5,0E+0	2,7E+1	1,3E+0	2,5E-3	2,5E-3	5,7E-1	5,7E-1	5,7E-3	5,7E-3		
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	2,0E+0	6,0E+0	1,5E+1	3,0E-1	2,4E-4	2,4E-4	4,9E-3	4,9E-3	1,6E-2	1,6E-2		
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	1,0E+1	1,5E+1	4,4E+0	9,3E-1	4,2E-8	4,2E-8	8,3E-7	8,3E-7	9,5E-4	9,5E-4		
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	1,0E+1	1,0E+1	1,7E+0	5,3E-1	4,3E-6	4,3E-6	9,1E-5	9,1E-5	2,7E-4	2,7E-4		
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	2,0E+0	1,0E+0	8,7E+0	1,1E+0	3,3E-5	3,3E-5	7,1E-4	7,1E-4	1,1E-3	1,1E-3		
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0	1,9E-6	1,9E-6	2,5E-5	2,5E-5	1,5E-4	1,5E-4		
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	4,0E+0	8,0E+0	3,3E+1	1,0E+0	3,5E-3	3,5E-3	7,5E-2	7,5E-2	8,4E-3	8,4E-3		
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	2,0E+1	2,0E+1	4,3E-1	1,3E-1	5,9E-9	2,7E-5	1,3E-7	5,7E-4	1,5E-8	1,4E-3		
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	4,0E+1	1,0E+1	2,9E-1	3,7E-1	2,2E-10	7,8E-7	3,9E-9	1,4E-5	1,2E-9	3,8E-4		
Valores acumulativos								6,1E-9	6,3E-3	1,3E-7	6,5E-1	1,6E-8	3,5E-2	0,0E+0	0,0E+0

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

Tabla 31. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO A). Parte 2.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO								Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0								Opción DAF de agua sub.: Domerico - Sin degradación							
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda								RECEPTORES FUERA DEL SITIO															
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior:				Exposición a aire interior:				Exposición a agua sub.:							
		Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Residencial (80 m)		Comercial (130 m)		Residencial (80 m)		Comercial (130 m)		Residencial (500 m)		Ninguno (5200 m)					
No. CAS	Nombre							Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	4,0E+0	5,0E+0	2,7E+1	1,3E+0			2,9E-3	2,1E-3			0,0E+0	0,0E+0			1,2E-1					
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	2,0E+0	6,0E+0	1,5E+1	3,0E-1			3,3E-4	2,4E-4			0,0E+0	0,0E+0			8,6E-2					
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	1,0E+1	1,5E+1	4,4E+0	9,3E-1			5,8E-8	4,2E-8			0,0E+0	0,0E+0			8,9E-2					
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	1,0E+1	1,0E+1	1,7E+0	5,3E-1			6,0E-6	4,3E-6			0,0E+0	0,0E+0			3,8E-2					
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	2,0E+0	1,0E+0	8,7E+0	1,1E+0			4,7E-5	3,3E-5			0,0E+0	0,0E+0			6,1E-2					
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0			2,6E-6	1,9E-6			0,0E+0	0,0E+0			1,2E-2					
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	4,0E+0	8,0E+0	3,3E+1	1,0E+0			4,9E-3	3,5E-3			0,0E+0	0,0E+0			1,1E-1					
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	2,0E+1	2,0E+1	4,3E-1	1,3E-1	9,8E-9	3,7E-5	5,9E-9	2,7E-5	error	0,0E+0	error	0,0E+0	error	0,0E+0	2,8E-6	2,0E-1				
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	4,0E+1	1,0E+1	2,9E-1	3,7E-1	3,7E-10	1,1E-6	2,2E-10	7,8E-7	error	0,0E+0	error	0,0E+0	error	0,0E+0	9,0E-7	2,1E-1				
Valores acumulativos								1,0E-8	8,2E-3	6,1E-9	6,9E-3	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	3,7E-6	9,4E-1	0,0E+0	0,0E+0				

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

3.3.7.2. CASO B: Ecuación de Domenico con degradación de primer orden.

1) Compuestos Individuales Según las Matrices Afectadas (todos los CDI).

En la Tabla 32 de la siguiente página se encuentra el resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea. Tal y como se ha mencionado antes, en la tabla encontramos los resultados obtenidos para el agua subterránea por ingestión que afectaría al pozo a 500 metros y la volatilización de agua subterránea, tanto a aire interior como exterior, a la zona residencial y comercial que hay en las proximidades de la gasolinera. En este nuevo caso de estudio, el programa indica que el compuesto que ha superado los niveles es únicamente el hexano, para el cual se propone en la misma tabla el factor de reducción del compuesto en lo referente a agua subterránea.

Así mismo, en la Tabla 33 está el resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo. De esta forma, al igual que en caso anterior, el resumen de los resultados está separado en suelo lixiviando a agua subterránea por ingestión, en volatilización del agua subterránea a aire interior y en volatilización del suelo tanto a aire interior como a aire exterior. En cuanto a los compuestos que superan los límites, únicamente supera el hexano como ocurría en el agua subterránea. Al lado derecho de la tabla se propone el factor de reducción para alcanzar los límites permitidos.

2) Tabla de riesgos acumulativos

Al igual que en caso anterior, para ajustar los factores de reducción del componente hasta lograr el nivel de riesgo acumulativo deseado, el proceso a seguir es el mismo:

- Mediante las Tablas 34 y 35 se identificarán cuáles son las rutas de exposición que exceden las metas de riesgo establecidas.
- Se determinarán los CRF idóneos para suelo y agua subterránea que se requieran para alcanzar los riesgos aceptables ya definidos para esas rutas (Tablas 36 y 37).

De esta forma, en las Tablas 34 y 35 se debe identificar cuáles son las rutas de exposición que presentan algún riesgo. En ella se encuentra que el nivel de riesgo únicamente excede el riesgo aceptable en el cociente de peligro de la exposición a aire interior en los receptores en el sitio del sector comercial con un cociente de $2,7E+0$ (donde el cociente de peligro aceptable es de $1E+0$).

Al ser sólo un riesgo se pueden identificar fácilmente los CRF si analizamos esta columna de exposición a aire interior para comprobar cuáles son los contaminantes causantes de que se genere dicho riesgo. Tras el análisis, se observó que el hexano es el causante de la gran mayoría del cociente de peligro, por lo que aplicando un factor de reducción sobre este contaminante se cumplirían los objetivos de calidad marcados.

Finalizada la identificación de esta ruta de riesgo, se recalculará de forma iterativa el CRF del hexano hasta lograr las metas de riesgo pautadas. El CRF propuesto está recogido en la Tabla 36 y 37 junto con la concentración aceptable resultante tanto en el suelo como en agua.

Tabla 32. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el agua subterránea (CASO B).

AGUA SUBTERRÁNEA: RESULTADOS DE SSTL			Riesgo aceptable 1,0E-5 Cociente de peligro aceptable 1,0									Opción DAF de agua subt.: Domenico - Primer orden (dispersión vert. mono-direccional)		
SSTL Resultados para rutas de exposición completas (Marcado si la ruta está completa)														
No. CAS	Nombre	Concentración representativa (mg/L)	Agua subterránea ingestión			Volatilización de agua subterránea a aire interior			Volatilización de agua subterránea a aire exterior			SSTL aplicable (mg/L)	¿Se excedió el SSTL? ■ = Si	CRF requerido Sólo cuando aparece "si"
			En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)			
110-54-3	Hexano, n-	6,5E+0	Ninguno	>1,3E+1	Ninguno	3,3E+0	>1,3E+1	>1,3E+1	>1,3E+1	>1,3E+1	>1,3E+1	3,3E+0	■	2,0E+0
91-20-3	Naftaleno	1,8E+0		>3,1E+1		>3,1E+1	>3,1E+1	>3,1E+1	>3,1E+1	>3,1E+1	>3,1E+1	>3,1E+0	□	NA
106-68-3	Octanona	1,4E+1		>1,7E+3		>1,7E+3	>1,7E+3	>1,7E+3	>1,7E+3	>1,7E+3	>1,7E+3	>1,652E+0	□	NA
108-88-3	Tolueno	5,3E+0		>5,3E+2		>5,3E+2	>5,3E+2	>5,3E+2	>5,3E+2	>5,3E+2	>5,3E+2	>5,30E+0	□	NA
100-41-4	Etil benceno	1,1E+0		>1,7E+2		>1,7E+2	>1,7E+2	>1,7E+2	>1,7E+2	>1,7E+2	>1,7E+2	>1,69E+0	□	NA
95-47-6	Xileno, o-	1,4E+0		>1,8E+2		>1,8E+2	>1,8E+2	>1,8E+2	>1,8E+2	>1,8E+2	>1,8E+2	>1,78E+0	□	NA
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0		>5,7E+1		2,3E+1	>5,7E+1	>5,7E+1	>5,7E+1	>5,7E+1	>5,7E+1	2,3E+1	□	<1
71-43-2	Benceno	2,7E+0		>1,8E+3		2,4E+1	1,3E+2	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	2,4E+1	□	<1
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0		>4,8E+4		1,5E+3	7,9E+3	>4,8E+4	>4,8E+4	>4,8E+4	>4,8E+4	1,5E+3	□	<1

> indica que la concentración aceptable basada en riesgo es mayor que el valor de solubilidad del componente. NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto

Tabla 33. Resumen con los niveles de limpieza para los compuestos en el subsuelo (CASO B).

SUBSUELO (2 - 10 m) RESULTADOS DE SSTL			Riesgo aceptable 1,0E-5 Cociente de peligro aceptable 1,0									Opción FAD de agua subt.: Domenico - Primer orden (dispersión vert. mono-direccional)			
SSTL Resultados para rutas de exposición completas (Marcado si la ruta está completa)															
No. CAS	Nombre	Concentración representativa (mg/kg)	Suelo lixiviando a agua subterránea ingestión			Suelo lixiviando a agua subterránea/ Volatilización del agua subterránea a aire interior			Vol. del suelo a aire interior	Volatilización del suelo a aire exterior			SSTL aplicable (mg/kg)	¿Se excedió el SSTL? ■ = Si	CRF requerido Sólo cuando aparece "si"
			En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)			
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2		>2,8E+2		8,6E+1	>2,8E+2	>2,8E+2	4,7E+1	>2,8E+2	>2,8E+2	>2,8E+2	4,7E+1	■	2,3E+0
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1		>1,8E+3		>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,8E+3	>1,779E+0	□	
106-68-3	Octanona	4,4E+1		>8,7E+3		>8,7E+3	>8,7E+3	>8,7E+3	>8,7E+3	>8,7E+3	>8,7E+3	>8,7E+3	>8,652E+0	□	
108-88-3	Tolueno	1,7E+1		>2,8E+3		>2,8E+3	>2,8E+3	>2,8E+3	>2,8E+3	>2,8E+3	>2,8E+3	>2,8E+3	>2,793E+0	□	
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1		>1,3E+3		>1,3E+3	>1,3E+3	>1,3E+3	>1,3E+3	>1,3E+3	>1,3E+3	>1,3E+3	>1,286E+0	□	
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1		>8,6E+2		>8,6E+2	>8,6E+2	>8,6E+2	>8,6E+2	>8,6E+2	>8,6E+2	>8,6E+2	>8,61E+0	□	
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2		>1,9E+3		9,4E+2	>1,9E+3	>1,9E+3	4,4E+2	>1,9E+3	>1,9E+3	>1,9E+3	4,4E+2	□	<1
71-43-2	Benceno	8,5E+0		>4,5E+3		7,6E+1	4,0E+2	>4,5E+3	3,4E+1	7,3E+2	4,3E+2	4,3E+2	3,4E+1	□	<1
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1		>3,1E+4		1,2E+3	6,3E+3	>3,1E+4	7,5E+2	1,4E+4	8,0E+3	1,4E+4	7,5E+2	□	<1

> indica que la concentración aceptable basada en riesgo es mayor que el valor de saturación del componente. NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto

Tabla 34. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO B). Parte 1.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO															
Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0															
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda															
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		RECEPTORES EN EL SITIO							
No. CAS	Nombre	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Exposición a aire exterior: Comercial	Exposición a aire interior: Comercial	Exposición a suelos: Residencial	Exposición a agua sub.: Ninguno				
								Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0				
								Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	NA	NA	1,1E+2	6,5E+0		1,3E-2		2,3E+0		2,3E-2		
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	NA	NA	2,9E+1	1,8E+0		4,7E-4		2,3E-2		3,3E-2		
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	NA	NA	4,4E+1	1,4E+1		4,2E-7		9,8E-6		9,5E-3		
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	NA	NA	1,7E+1	5,3E+0		4,3E-5		9,1E-4		2,7E-3		
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	NA	NA	1,7E+1	1,1E+0		6,6E-5		1,4E-3		2,2E-3		
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	NA	NA	2,4E+1	1,4E+0		1,9E-6		2,5E-5		1,5E-4		
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	NA	NA	1,3E+2	8,0E+0		1,4E-2		3,5E-1		3,4E-2		
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	NA	NA	8,5E+0	2,7E+0		1,2E-7	5,3E-4	2,5E-6	1,1E-2	2,9E-7	2,7E-2	
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	NA	NA	1,2E+1	3,7E+0		8,7E-9	3,1E-5	1,6E-7	5,7E-4	4,8E-8	1,5E-2	
Valores acumulativos								1,3E-7	2,8E-2	2,7E-6	2,7E+0	3,4E-7	1,5E-1	0,0E+0	0,0E+0
NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto										■ Indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable					

Tabla 35. Riesgos acumulativos sin aplicar ningún tipo de factor de reducción (CASO B). Parte 2.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO																		
Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0																		
Opción DAF de agua sub.: Domenico - Primer orden																		
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda																		
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		RECEPTORES FUERA DEL SITIO										
No. CAS	Nombre	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Exposición a aire exterior: Residencial (80 m)	Exposición a aire interior: Comercial (130 m)	Exposición a agua sub.: Residencial (500 m)	Exposición a agua sub.: Ninguno (5200 m)							
								Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8 CP aceptable: 01E+0							
								Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro			
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	NA	NA	1,1E+2	6,5E+0		1,2E-2		8,2E-3		0,0E+0		6,9E-100			
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	NA	NA	2,9E+1	1,8E+0		6,6E-4		4,7E-4		0,0E+0		4,4E-78			
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	NA	NA	4,4E+1	1,4E+1		5,8E-7		4,2E-7		0,0E+0		1,5E-99			
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	NA	NA	1,7E+1	5,3E+0		6,0E-5		4,3E-5		0,0E+0		7,7E-80			
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	NA	NA	1,7E+1	1,1E+0		9,3E-5		6,6E-5		0,0E+0		3,1E-28			
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	NA	NA	2,4E+1	1,4E+0		2,6E-6		1,9E-6		0,0E+0		9,1E-18			
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	NA	NA	1,3E+2	8,0E+0		2,0E-2		1,4E-2		0,0E+0		1,0E-99			
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	NA	NA	8,5E+0	2,7E+0		2,0E-7	7,5E-4	1,2E-7	5,3E-4	error	0,0E+0	4,3E-11			
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	NA	NA	1,2E+1	3,7E+0		1,5E-8	4,4E-5	8,7E-9	3,1E-5	error	0,0E+0	3,0E-11			
Valores acumulativos								2,1E-7	3,3E-2	1,3E-7	2,3E-2	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	7,2E-11	1,0E-5	0,0E+0	0,0E+0
NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto										■ Indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable								

Tabla 36. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO B). Parte 1.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO										Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0							
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda										RECEPTORES EN EL SITIO							
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior: Comercial		Exposición a aire interior: Comercial		Exposición a suelos: Residencial		Exposición a agua sub.: Ninguno			
No. CAS	Nombre	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0		
								Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro		
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	5,0E+0	5,0E+0	2,1E+1	1,3E+0		2,5E-3		4,6E-1		4,6E-3				
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	<1	NA	2,9E+1	1,8E+0		4,7E-4		2,3E-2		3,3E-2				
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	<1	NA	4,4E+1	1,4E+1		4,2E-7		9,8E-6		9,5E-3				
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	<1	NA	1,7E+1	5,3E+0		4,3E-5		9,1E-4		2,7E-3				
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	<1	NA	1,7E+1	1,1E+0		6,6E-5		1,4E-3		2,2E-3				
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0		1,9E-6		2,5E-5		1,5E-4				
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	<1	<1	1,3E+2	8,0E+0		1,4E-2		3,5E-1		3,4E-2				
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	<1	<1	8,5E+0	2,7E+0		8,7E-9	3,1E-5	1,6E-7	5,7E-4	4,8E-8	1,5E-2			
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	<1	<1	1,2E+1	3,7E+0										
Valores acumulativos										1,3E-7	1,8E-2	2,7E-6	8,4E-1	3,4E-7	1,3E-1	0,0E+0	0,0E+0

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

Tabla 37. Riesgos acumulativos aplicando los factores de reducción idóneos para alcanzar los riesgos aceptables (CASO B). Parte 2.

HOJA DE CÁLCULO DE RIESGO ACUMULATIVO										Riesgo acumulativo aceptable: 1.000E-8 Índice de peligro aceptable: 01E+0								Opción DAF de agua sub.: Domingo - Primer orden			
Pegar valores de CRF Calcular Ayuda										RECEPTORES FUERA DEL SITIO											
COMPUESTOS DE INTERÉS		Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante		Exposición a aire exterior: Residencial (80 m)		Exposición a aire exterior: Comercial (130 m)		Exposición a aire interior: Residencial (80 m)		Exposición a aire interior: Comercial (130 m)		Exposición a agua sub.: Residencial (500 m)		Exposición a agua sub.: Ninguno (5200 m)			
No. CAS	Nombre	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0	Riesgo aceptable: 1.000E-8	CP aceptable: 01E+0		
								Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro	Riesgo de exceso de cáncer	Cociente de peligro		
110-54-3	Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	5,0E+0	5,0E+0	2,1E+1	1,3E+0		2,3E-3		1,6E-3		0,0E+0		0,0E+0		1,4E-100				
91-20-3	Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	<1	NA	2,9E+1	1,8E+0		6,6E-4		4,7E-4		0,0E+0		0,0E+0		4,4E-78				
106-68-3	Octanona	4,4E+1	1,4E+1	<1	NA	4,4E+1	1,4E+1		5,8E-7		4,2E-7		0,0E+0		0,0E+0		1,5E-99				
108-88-3	Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	<1	NA	1,7E+1	5,3E+0		6,0E-5		4,3E-5		0,0E+0		0,0E+0		7,7E-80				
100-41-4	Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	<1	NA	1,7E+1	1,1E+0		9,3E-5		6,6E-5		0,0E+0		0,0E+0		3,1E-28				
95-47-6	Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0		2,6E-6		1,9E-6		0,0E+0		0,0E+0		9,1E-18				
95-63-6	Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	<1	<1	1,3E+2	8,0E+0		2,0E-2		1,4E-2		0,0E+0		0,0E+0		1,0E-99				
71-43-2	Benceno	8,5E+0	2,7E+0	<1	<1	8,5E+0	2,7E+0		2,0E-7	7,5E-4	1,2E-7	5,3E-4	error	0,0E+0	error	0,0E+0	4,3E-11	3,1E-6			
1634-04-4	Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	<1	<1	1,2E+1	3,7E+0		1,5E-8	4,4E-5	8,7E-9	3,1E-5	error	0,0E+0	error	0,0E+0	3,0E-11	7,1E-6			
Valores acumulativos										2,1E-7	2,4E-2	1,3E-7	1,7E-2	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	0,0E+0	7,2E-11	1,0E-5	0,0E+0	0,0E+0

NA = No aplica NC = No se calculó CRF = Factor de reducción del compuesto ■ indica el nivel de riesgo que excede el riesgo aceptable

3.4. SINOPSIS DE RESULTADOS

En este apartado se comentarán los principales resultados obtenidos tras el análisis de riesgos, así como la comparación entre ambos casos para observar de manera más sencilla las diferencias entre el modelo sin biodegradación y el modelo con degradación de primer orden.

En primer lugar, en el análisis transitorio de Domenico se encuentra la predicción de que ocurrirá con los compuestos y en qué momento (si lo hubiera) se excederían los límites de exposición según las condiciones específicas del sitio. Se observó que existían grandes diferencias entre los resultados de ambos casos.

Por una parte, en el Caso A se superaron las concentraciones límite del punto situado fuera del sitio 1 (el pozo) de algunos de los compuestos, tanto para la ruta por ingestión de agua subterránea afectada por la lixiviación desde el suelo como para la ingestión de agua subterránea sin lixiviación. En esta primera ruta se encuentra que los contaminantes que llegan a la concentración límite son el benceno (a los 211,4 años) y el MTBE (a los 99,6), mientras que en la segunda ruta aparecen la octanona (a los 489,9 años), el benceno (a los 212,2 años) y el MTBE (a los 123,3 años).

Por otra parte, al contrario que en el Caso A, en el Caso B no se presentó ningún riesgo por superarse la concentración límite en la zona del pozo debido a los procesos de degradación natural que van sucediendo en el suelo con el tiempo, ya que la concentración límite se superaba en tiempos superiores a un siglo, tiempo suficiente para que biodegradación actúe.

En segundo lugar, en la línea base de riesgos se encuentra el resumen de los valores de la línea base de riesgo para todas las rutas de exposición aplicables (aire interior, aire exterior, exposición al suelo y exposición a agua subterránea), indicando así por cuál de ellas se estima que se excederán los límites de riesgos aceptables tanto para riesgos cancerígenos como para efectos tóxicos.

En cuanto al Caso A, se excedieron los límites de una ruta en la línea base de riesgo cancerígeno y de dos rutas en la línea base de efectos tóxicos:

- En la línea de base de riesgo cancerígeno la ruta afectada es la de exposición a agua subterránea, donde se exceden los límites de riesgos. El valor máximo de riesgo por compuesto es de $5,5E-5$ (donde el límite aplicable es de $1,0E-5$), este valor pertenece al benceno en el pozo.
- En la línea de base de efectos tóxicos de la ruta afectada es la de exposición a aire interior, donde se exceden los límites de toxicidad. El valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de $3,9E+0$ (donde el límite aplicable es de $1,0E+0$), este valor pertenece al n-hexano en el uso residencial fuera del sitio 1.

- En la línea de base de efectos tóxicos de la ruta afectada es la de exposición a agua subterránea, donde se exceden los límites de toxicidad. El valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de 8,6E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al MTBE en el área del pozo fuera del sitio 1.

En cuanto al Caso B, se encontró un escenario totalmente distinto en el que se presentaban menos riesgos a tener en cuenta, afectando únicamente a la línea base de efectos tóxicos. El único riesgo se encuentra en la línea de base de efectos tóxicos de la ruta de exposición a aire interior, donde se exceden los límites de toxicidad. En esta ocasión, el valor máximo del cociente de peligro por compuesto es de 2,3E+0 (donde el límite aplicable es de 1,0E+0), este valor pertenece al n-hexano localizado en el foco emisor de la contaminación (gasolinera).

En tercer lugar, en los niveles de limpieza se obtuvo los niveles de limpieza según la matriz del foco (agua subterránea, suelos superficiales, subsuelo) o ver los niveles meta específicos del sitio según los efectos acumulativos de los riesgos.

En consecuencia, en el Caso A, se obtuvo que los compuestos que precisaron de niveles de limpieza en el agua subterránea fueron el n-hexano, la octanona, el benceno y el MTBE, mientras que para el subsuelo fueron el n-hexano, el benceno y el MTBE. Así mismo, los CRF requeridos de acuerdo a los resultados del programa para esos compuestos son:

Tabla 38. Resumen con los niveles de limpieza en agua subterránea y en subsuelo del Caso A.

Compuesto	Agua subterránea		Subsuelo	
	SSTL aplicable	CRF requerido	SSTL aplicable	CRF requerido
Hexano, n-	1,60E+00	3,90E+00	4,30E+01	2,50E+00
Octanona	1,00E+01	1,30E+00	-	-
Benceno	5,00E-01	5,40E+00	1,50E+00	5,50E+00
Metil t-butil éter (MTBE)	1,70E+00	2,10E+00	1,40E+00	8,60E+00

De igual forma, en los niveles basados en los efectos del riesgo acumulativo se encontró que el nivel de riesgo excede el riesgo aceptable en el cociente de peligro de la exposición a aire interior en los receptores en el sitio del sector comercial con un cociente de 2,7E+0 (donde el cociente de peligro aceptable es de 1E+0), en el riesgo aceptable de la exposición a agua subterránea en los receptores fuera del sitio en la zona del pozo con un riesgo de exceso de cáncer de 9,1E-5 (donde el riesgo aceptable es de 1E-8) y en el cociente de peligro de la exposición a agua subterránea del mismo, con un cociente de peligro de 1,6E+1 (donde el cociente aceptable es de 1E+0). Tras el cálculo iterativo de los CRF (se propusieron los de la siguiente tabla) dio como resultado la concentración resultante aceptable que se puede ver a continuación:

Tabla 39. Factores de reducción idóneos para alcanzar concentraciones aceptables en el Caso A.

COMPUESTOS DE INTERÉS	Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante	
	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)
Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	4,0E+0	5,0E+0	2,7E+1	1,3E+0
Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	2,0E+0	6,0E+0	1,5E+1	3,0E-1
Octanona	4,4E+1	1,4E+1	1,0E+1	1,5E+1	4,4E+0	9,3E-1
Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	1,0E+1	1,0E+1	1,7E+0	5,3E-1
Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	2,0E+0	1,0E+0	8,7E+0	1,1E+0
Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	4,0E+0	8,0E+0	3,3E+1	1,0E+0
Benceno	8,5E+0	2,7E+0	2,0E+1	2,0E+1	4,3E-1	1,3E-1
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	4,0E+1	1,0E+1	2,9E-1	3,7E-1

Por el contrario, en el Caso B resultó en que el único compuesto que superó los niveles tanto en el agua subterránea como en el subsuelo fue el n-hexano, por lo que fue el único compuesto que precisó de CRF (menores que el Caso A):

Tabla 40. Resumen con los niveles de limpieza en agua subterránea y en subsuelo del Caso B.

Compuesto	Agua subterránea		Subsuelo	
	SSTL aplicable	CRF requerido	SSTL aplicable	CRF requerido
Hexano, n-	3,30E+00	2,00E+00	4,70E+01	2,30E+00

De igual modo, en los niveles basados en los efectos del riesgo acumulativo se encontró que el nivel de riesgo únicamente excede el riesgo aceptable en el cociente de peligro de la exposición a aire interior en los receptores en el sitio del sector comercial con un cociente de 2,7E+0 (donde el cociente de peligro aceptable es de 1E+0). Al ser sólo un riesgo se observó que el hexano es el causante de la gran mayoría del cociente de peligro, por lo que aplicando un factor de reducción sobre este contaminante se cumplirían los objetivos de calidad marcados.

Tabla 41. Factores de reducción idóneos para alcanzar concentraciones aceptables en el Caso B.

COMPUESTOS DE INTERÉS	Concentración representativa		CRF propuesto		Concentración aceptable resultante	
	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)	Suelo	Agua sub.	Suelo (mg/kg)	Agua sub. (mg/L)
Hexano, n-	1,1E+2	6,5E+0	5,0E+0	5,0E+0	2,1E+1	1,3E+0
Naftaleno	2,9E+1	1,8E+0	<1	NA	2,9E+1	1,8E+0
Octanona	4,4E+1	1,4E+1	<1	NA	4,4E+1	1,4E+1
Tolueno	1,7E+1	5,3E+0	<1	NA	1,7E+1	5,3E+0
Etil benceno	1,7E+1	1,1E+0	<1	NA	1,7E+1	1,1E+0
Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+0	<1	NA	2,4E+1	1,4E+0
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	8,0E+0	<1	<1	1,3E+2	8,0E+0
Benceno	8,5E+0	2,7E+0	<1	<1	8,5E+0	2,7E+0
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	3,7E+0	<1	<1	1,2E+1	3,7E+0

4. PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN

En este apartado se proponen actuaciones a llevar a cabo en el área afectada con el fin de descontaminar la zona. En primer lugar, se basará en la sustitución de los tanques por los que garanticen una mayor protección del medio, además de la instalación de los sistemas y del cumplimiento de medidas recomendadas que sean necesarias. En segundo lugar, se basará en la aplicación del sistema de descontaminación de biopilas en el suelo escavado durante la ejecución de obra de la sustitución de los tanques y en la aplicación de una técnica de bioremediación “in situ”, conocida como bioventing, para el resto del suelo afectado (la información de esta segunda actuación se basará en la Guía de Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli).

4.1. PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN

De acuerdo con el artículo 32 y 33 del capítulo 5 sobre tanques de almacenamiento nuevos o reemplazos del Reglamento Ambiental para Estaciones de Servicios de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, todos los tanques para el almacenamiento de combustible se elegirán tras el estudio del suelo y de la hidrogeología, para seleccionar el material más adecuado entre: acero cubierto de fibra, fibra con pared doble y acero cubierto de fibra con espacio intersticial. El tanque de doble pared con espacio intersticial deberá contar con un sistema de detección de fugas en espacio anular, con el fin de detectar inmediatamente durante la vida útil de este el agua que penetre por la pared secundaria o el producto que llegue a salir del contenedor primario.

Por otra parte, en el artículo 39, establece que el sistema de excavación y colocación de los tanques se basará en los datos obtenidos por el estudio de mecánica de suelos e, independientemente del tamaño del tanque, se deberá dejar un mínimo de 50 cm del corte del terreno al paño del tanque, y un espacio mínimo de 100 cm entre tanques cuando estos estén colocados en la misma excavación, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- El desnivel resultante de la pendiente mínima (1%) de las tuberías de producto del surtidor más alejado hacia el tanque.
- La cama de gravilla o material de relleno de 30 cm mínimo de espesor.
- El diámetro del tanque a instalar.
- En áreas que no tengan tránsito vehicular, el lomo del tanque estará a una profundidad de 90 cm mínimo con respecto al nivel de losa terminada.
- En áreas con tránsito vehicular, el lomo del tanque estará a una profundidad de 125 cm mínimo con respecto al nivel de losa terminada.
- La profundidad máxima para enterrar un tanque será de 2 m medidos desde el lomo del tanque al nivel de losa terminada.
- En todos los casos, la profundidad estará medida a partir del nivel de piso terminado hasta el lomo del tanque, incluyendo el espesor de la losa de concreto del propio piso.

Así mismo, el artículo 41 de este capítulo estipula que se elegirá el tipo de anclaje que se requiera para sujetar los tanques en fosa seca o húmeda de acuerdo con las características del terreno que han sido determinadas por el estudio de mecánica de suelo. Usándose un material de relleno que especifique el fabricante, evitando los materiales blancos o que se desmoronen, compacten o deformen cuando estén expuestos a cargas o en presencia de agua.

Con el fin de detectar fugas de hidrocarburos en el subsuelo, el artículo 46 dicta que se deberá instalar pozos de observación construidos teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Los pozos deben ser instalados cerca de los tanques en el relleno de gravilla, cuando el nivel del agua subterránea esta por abajo del nivel máximo de excavación o cuando los tanques están colocados en fosas de concreto.
- El pozo de observación consiste en un tubo con ranuras en toda su longitud.
- Se instalarán dos pozos de observación en forma recta vertical por cada tanque, colocados enfrente de cada tapa del tanque, con un retiro máximo de 50 cm.
- Los pozos deberán ser equipados con un tubo ranurado de 100 mm de diámetro interior mínimo con conexión de rosca, con un tapón superior de fácil acceso y apertura y, opcionalmente, pueden ser instalados sensores electrónicos para el monitoreo de vapores de hidrocarburos, así como los sensores electrónicos para el monitoreo de vapores de hidrocarburos (ambos con conexión eléctrica para lectura remota en tablero).

Estos pozos de observación quedarán identificados, sellados y asegurados para prevenir la introducción accidental o deliberada de productos, agua u otros materiales.

Por último, en caso de que el nivel de las aguas subterráneas esté arriba del nivel de excavación de las fosas, los pozos de observación se sustituyen por pozos de monitoreo que permiten evaluar la calidad del agua subterránea. En el artículo 47 y 48 se remarca todo lo referente a estos:

- Se debe instalar cuando el nivel freático más cercano a la superficie (somero) esté a menos de 8 metros de profundidad.
- Se instalarán tres pozos de monitoreo en triangulo en el perímetro de las instalaciones de tanques, islas y tuberías.
- Si se conoce el sentido de escurrimiento del agua subterránea, se deberá instalar un pozo de monitoreo aguas debajo de las instalaciones, con las equipaciones nombradas anteriormente.

4.2. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN

Tras el análisis de riesgos mediante el RBCA se observó que los contaminantes tardaban elevados periodos de tiempo en provocar riesgos o en superar las concentraciones límite, por lo que las consecuencias que se generarían debido a esta contaminación no se desencadenarían en muchos años, tiempo suficiente para evaluar un enfoque de remediación alternativo como la bioremediación (generalmente más barato y con un menor impacto que otros métodos).

Se entiende por bioremediación el uso de la actividad metabólica microbiana para eliminar contaminantes del suelo o de las aguas subterráneas. Tras el estudio llevado a cabo se observó que se trataba de un suelo contaminado por hidrocarburos derivados del petróleo, un suelo con este tipo de contaminación contiene microorganismos capaces de biodegradarlos donde, como se acaba de mencionar, se contaba con el tiempo suficiente para el uso de la misma sin que se presenten efectos colaterales adversos en el ecosistema.

Existen varias tecnologías de bioremediación disponibles que se clasifican en tecnologías “in situ”, aquellas que se realizan directamente en el suelo sin excavación, y en tecnologías “ex situ”, aquellas que se desarrollan una vez el suelo ha sido excavado y trasladado donde se pueda llevar a cabo el tratamiento necesario.

La alternativa más habitual (y la que se propone que se use en este caso de contaminación en concreto para el suelo afectado) de bioremediación “in situ” es la bioventing (Imagen 22), la cual se basa en la estimulación de la biodegradación mediante la aireación de la zona ya sea por inyección o extracción. Durante esta aireación se aplican caudales pequeños de aire con el fin de aportar el aire necesario para incrementar la actividad microbiana, minimizando la volatilización de los contaminantes. Además, si se desea se pueden añadir agentes bioestimuladores, como por ejemplo nutrientes.

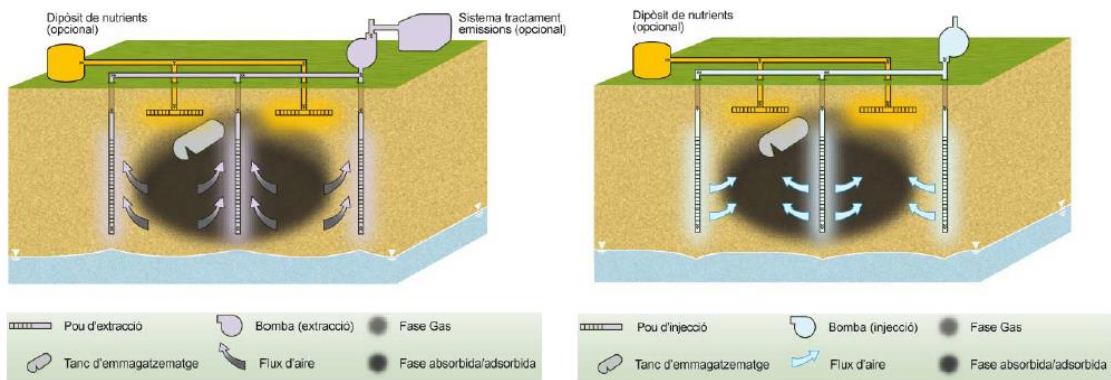


Imagen 22. Sistema de bioventing por extracción de aire (izquierda) y por inyección de aire (derecha). Fuente: Guia de Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli.

Esta tecnología de bioremediación “in situ” tiene una serie de ventajas y desventajas. Como principales ventajas se encuentra que se trata de un tratamiento con un coste relativamente bajo y competitivo, conserva la estructura del suelo y la actividad de la superficie al no llevarse a cabo una excavación, genera pocas perturbaciones al terreno y se puede utilizar en zonas inaccesibles, utiliza un equipamiento fácilmente disponible y de fácil instalación y se puede combinar fácilmente con otras tecnologías. Sin embargo, como principales desventajas de este tratamiento es su alta dependencia respecto a las características del emplazamiento, la ineffectividad en ciertos emplazamientos y ante otras concentraciones de contaminantes que pueden ser inicialmente tóxicas para los microorganismos, la dificultad de alcanzar estándares de descontaminación muy bajos, pueden requerir largos tiempos de tratamiento y puede precisar de un tratamiento de los gases de salida.

El bioventing es especialmente eficaz y de rendimientos óptimos frente a tratamientos de suelos contaminados por derrames de diésel, por suelos contaminados por fuel, aceites de motor e hidrocarburos monoaromáticos como los BTEX de las gasolinas.

Por el contrario, en cuanto a las tecnologías “ex situ”, las principales alternativas de este tipo de bioremediación del suelo son:

- Biopila: consiste en realizar una excavación del suelo y ponerlos en pilas o montones, donde la actividad microbiana se estimula mediante aireación e introducción de nutrientes, humedad o cosustratos. A menudo es necesario proteger la biopila con algún tipo de cubrimiento para mantener una humedad óptima y minimizar el riesgo de producción de lixiviados.
- Compostaje: es un método en el que el suelo se excava y se mezcla con agentes estructurantes (sustancias orgánicas sólidas biodegradables como paja, serraduras, basura, compuesto maduro o restos de material agrícola). El tipo de materia orgánica usada dependerá de la porosidad del suelo y del balance carbono/nitrógeno necesario para favorecer la actividad microbiana. Al final del proceso se obtiene una materia orgánica estable tras una etapa termófila. El sistema de compostaje se puede airear mediante volteo mecánico en las pilas o mediante sistema de distribución de aire en la base de la pila.
- Landfarming: el suelo contaminado se excava y se deposita en una capa fina de entre 30-45 cm de espesor que se voltea o ara periódicamente con el fin de facilitar la aireación. En este caso también se puede añadir nutrientes y mantener una humedad óptima para favorecer la actividad microbiana. El diseño del sistema puede incluir recogida de lixiviados y un sistema de gestión del agua para evitar la saturación del área de tratamiento.
- Tratamiento por suspensión en biorreactor: el tratamiento del suelo se realiza mediante la combinación del suelo con agua y otros aditivos en una suspensión acuosa, donde los microorganismos y los sólidos se mantendrían en suspensión por agitación. Este tratamiento se suele hacer en reactores conectados en serie, donde cada uno de los cuales mantiene unas condiciones específicas de operación. Tras una etapa de espesamiento, al final del proceso se separa el suelo tratado del agua.

Como ya se ha mencionado, la tecnología elegida para tratar el suelo extraído tras la excavación de la zona circundante a los tanques es la de biopilas, la cual es la tecnología dominante en el mercado de la bioremediación “ex situ”, por delante del landfarming y el compostaje. En función de cómo se produzca la aireación se distingue entre la biopila estática (la aireación se consigue mediante la instalación de sistemas de aireación activa o pasiva, ya sea por inyección o por extracción a través de conductos ranurados o perforados que atraviesan la biopila de una altura de entre 0,8-2 metros tal y como se observa en la Imagen 23) y entre biopila dinámica (la aireación se consigue mediante un periódico arado y el volteo mecánico de la pila).

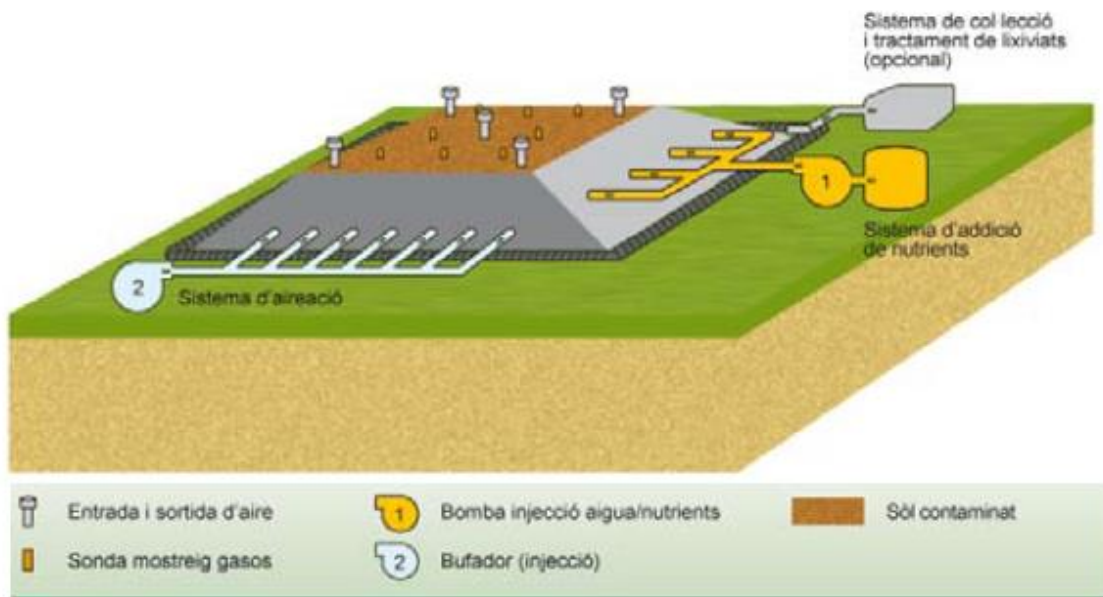


Imagen 23. Biopila estática. Fuente: Guía de Bioremediación de suelos contaminados por hidrocarburos del petróleo.

Esta tecnología de biopilas como método de tratamiento “ex situ” tiene una serie de ventajas y desventajas. Como ventajas generales cuenta con que es un tratamiento cuyo coste es muy competitivo, se puede ejercer mayor control de las condiciones durante el tratamiento que en los tratamientos “in situ”, posee mayor simplicidad en el diseño y en la implementación de la tecnología, requieren de tiempos de tratamientos medios con una duración de 4 a 12 meses en condiciones óptimas, presentan efectividad para el tratamiento de compuestos orgánicos con tasas de biodegradación bajas, presenta menos requerimientos de área de tratamiento en relación con la tecnología del landfarming y el compostaje, se puede diseñar como un sistema cerrado para controlar las emisiones, su diseño se puede modificar para conseguir la máxima efectividad para los distintos tipos de suelos y sus contaminantes, las biopilas estáticas se pueden formar con una altura más elevada que las biopilas dinámicas y de compostaje. Por otra parte, en cuanto a las desventajas se encuentra que un mayor coste económico con respecto a las “in situ” ya que se ha tenido que escavar y trasladar el suelo, la inefectividad en ciertos emplazamientos y ante otras concentraciones de contaminantes que pueden ser inicialmente tóxicas para los microorganismos, la dificultad de alcanzar estándares de descontaminación muy bajos, puede precisar de un tratamiento de los gases de salida, necesita un área extensa para el tratamiento, puede ser necesario construir un sistema de recolección de lixiviados, el suelo puede compactarse y humedecerse debido a condiciones climáticas y se debe mantener unas condiciones óptimas para que el proceso tenga éxito.

Las biopilas es un tratamiento que se especializa en suelos contaminados por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), pentaclorofenoles (PCP) y gasóleos.

5. CONCLUSIONES

La salud humana y el medioambiente se ponen en riesgo en cada ocasión en la que se genera una contaminación de origen antropogénico en el suelo. Es por esto que, cuando se habla de contaminación por hidrocarburos totales de petróleo, existen unos niveles genéricos de referencia que establecen la necesidad de realizar un análisis de riesgos. En este trabajo final de máster se ha desarrollado el estudio de un caso hipotético de la contaminación del suelo circundante a una estación de servicio de la Comunidad Valenciana por fugas de los tanques de almacenamiento, en el cual se ha querido demostrar la gran utilidad del análisis cuantitativo de riesgos para la toma de decisiones en las actuaciones de descontaminación, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Tras la toma de muestras de suelo, y su posterior acondicionamiento y determinación en analítica, se encontró la presencia de nueve contaminantes: n-hexano, naftaleno, octanona, tolueno, etilbenceno, o-xileno, benceno, metil t-butil éter y 1,2,4-trimetilbenceno.
- Durante la caracterización de la zona se determinó que ningún contaminante presentaba fase libre debido a que en ningún momento la concentración que obtenemos de los muestreos supera la concentración máxima admisible y que la distancia máxima de la pluma fue ocasionada por el MTBE con una distancia de 210,23 metros, el cual se desplaza a una velocidad de 21,02 metros por año.
- El análisis de riesgo preliminar es una herramienta técnicamente útil para la reducción tanto económica como de recursos materiales y humanos debido a la capacidad sistemática de fomentar la búsqueda de soluciones a un bajo costo y con ahorro energético para que los recursos económicos, los cuales a menudo son limitados, se inviertan adecuadamente.
- El uso de las tasas de degradación de los distintos compuestos contaminantes en el suelo frente al escenario en que se supone que no se produce biodegradación deriva en la obtención de resultados muy diferentes entre el caso A (sin biodegradación) y el caso B (degradación de primer orden), lo que pone de manifiesto la importancia de que a la hora de abordar un estudio más preciso se deben realizar análisis en laboratorio para determinar los tiempos de vida media de los contaminantes en las muestras del suelo afectado.
- Mediante el análisis transitorio de Domenico se obtuvo una simulación del modelo conceptual para las rutas de exposición de agua subterránea y se evaluaron los compuestos que generaban un riesgo teniendo en cuenta si se excedía el límite en el punto de exposición y de cuándo ocurría esa excedencia, lo que resulta una información muy útil para la toma de decisiones sobre manejo de riesgos. De esta forma se obtuvo información muy valiosa en los dos escenarios que se estudiaron para el punto de exposición del pozo, ya que era este el punto principal de exposición al agua subterránea por ingestión:
 - En el caso A se obtuvo que, para suelos lixiviando a agua subterránea, los compuestos de interés que superaron la concentración límite fueron el benceno (tardando 211,4 años en alcanzar dicha concentración en el pozo) y el metil t-butil éter (tardando 99,6 años). Mientras que para aguas subterráneas afectadas los contaminantes que superaron la concentración límite fueron el benceno (en

un tiempo de 212,2 años), el metil t-butil éter (a los 123,3 años) y la octanona (tardando 489,9 años).

- Por el contrario, en el caso B tanto para la ruta de ingestión debida a los suelos lixiviando a agua subterránea como para la de ingestión del agua subterránea directamente no se presentó ningún riesgo al no superarse ninguna concentración límite, debido a los procesos de degradación natural que van sucediendo en el suelo con el tiempo durante su transporte hasta el pozo.
- En cuanto a los resultados de la línea base de riesgos carcinogénicos o de efectos tóxicos sistémicos en las distintas rutas de exposición, se obtuvo que:
- En el caso A se observó que se excedían los límites de riesgo carcinogénico en la ruta de exposición a agua subterránea (provocado por el benceno y por el MTBE) y que se excedían los límites de riesgo por toxicidad en las rutas de exposición a aire interior (provocado por el hexano) y al agua subterránea (provocado por la octanona, el benceno y el MTBE).
 - Mientras que en el caso B sólo se encontraron riesgos por toxicidad en la ruta de exposición a aire interior provocados por la presencia de gran concentración de n-hexano.
- Por último, en cuanto a las tablas de los niveles de limpieza basados en los efectos del riesgo acumulativo de las diferentes sustancias presentes, se pudieron identificar cuáles eran las rutas de exposición que excedían las metas de riesgo establecidas para así determinar sobre qué contaminante aplicar factores de reducción. Estos resultados fueron los siguientes:
- En el caso A se sobrepasaron los límites de riesgos acumulativos en el cociente de peligro por toxicidad en la ruta de exposición a aire interior para los receptores en el sitio (para uso comercial del suelo), y en la ruta de exposición a agua subterránea para los receptores fuera del sitio (en la zona del pozo), tanto por riesgo carcinogénico, como por el cociente de peligro. Una vez determinadas las rutas afectadas se determinó que era necesario aplicar factores de reducción en todos los compuestos a excepción del o-xileno para alcanzar niveles de riesgo acumulativo aceptables.
 - En cuanto al caso B, se encontró que el nivel de riesgo únicamente excede el riesgo aceptable en el cociente de peligro de la ruta de exposición a aire interior para los receptores en el sitio (con uso comercial del suelo), siendo necesario aplicar un factor de reducción sobre el n-hexano únicamente.
- Del análisis de riesgos realizado mediante el RBCA se propuso una descontaminación acorde a los resultados obtenidos. Dado que las consecuencias y riesgos que se generarían por la contaminación no se desencadenarían en muchos años, se propuso una remediación alternativa: la bioremediación (más barata y con un menor impacto que otros métodos). Estableciéndose así el uso de biopilas para el suelo excavado para extraer y reemplazar los tanques y de bioventing para el resto del suelo circundante afectado usando así un tratamiento in-situ.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ajuntament d'Alcàsser (2017). Consulta realizada en <http://www.alcasser.es/> (Mayo, 2017).
- Angelone, S.; Garibay, M.T. and Cauhapé, M. (2006). *Permeabilidad de Suelos*. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
- B.O.E. (1996). DIRECTIVA 96/61/CE DEL CONSEJO de 25 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación.
- B.O.E. (1998). LEY 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- B.O.E. (2001). Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de residuos de la Comunidad Valenciana.
- B.O.E. (2004). DIRECTIVA 2004/35/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de abril de 2004 sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.
- B.O.E. (2005). REAL DECRETO 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- B.O.E. (2008). DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Texto pertinente a efectos del EEE).
- B.O.E. (2011). Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunidad Valenciana (2017). Consulta realizada en <http://bdb.cma.gva.es> (Julio, 2017)
- Coduto, D.P. (1999). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Editorial Prentice Hall.
- Connor, J.A.; Bowers, R.L.; McHugh, T.E. and Spexet, A.H. (2009). *Manual del usuario para el software RBCA Tool Kit for Chemical Releases (Herramientas Para Aplicar Acciones Correctivas Basadas en Riesgo). Versión 2.5e*. Editorial GSI Environmental Inc.
- Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori (2011). *Criterios de Control y Protocolo de Actuación de Descontaminación de las Aguas Subterráneas. Contaminación producida por Fugas en Tanques y Conducciones Soterradas de Hidrocarburos*. Direcció General de Recursos Hídrics.

- Departament de Medi Ambient i Habitatge (2005). *Manual per a la prevenció de la contaminació de sòls*.
- Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. 2007. Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Ciencia y Educación. Versión web.
- Hispagua. Sistema Español de Información sobre el agua (2017). CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Consulta realizada en <http://hispagua.cedex.es/datos/suelos> (Julio, 2017).
- IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2017). Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Consulta realizada en <http://atlaseolico.idae.es/meteosim/> (Abril, 2017).
- IGME. Instituto Geológico y Minero de España (2017). *Mapa geológico de la Comunidad Valenciana a escala 1:400.000*. Consulta realizada en <http://igme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=8ddde2b43b364813afbaa256ef3222cd> (Mayo, 2017).
- Lladó, S. (2012). *Bioremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos Pesados y Caracterización de Comunidades Microbianas Implicadas (Tesis doctoral)*. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- López, J. A.; Fernández, L.; Navarrete, P.; Ramos, G.; Peinado, T.; Barba-Romero, J.; Rodríguez, L.; Aragón, R.; Azcón, A.; Casas, S.; Domingo, L.; Bueno, D.; Sobrino, J.; García, J.; Obartí, J.; Garay, P. (1989). Instituto Geológico y Minero de España (IGME). *Las Aguas Subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización*, pp 87-129.
- Martínez, F.J. (2003). *Estudio Agronómico y Ambiental del Riego con Aguas Residuales Depuradas en el Cultivo del Arroz. Aplicación a una Línea de Riego en el Parque Natural de la Albufera, Valencia (Tesis doctoral)*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Pinedo, J. (2014). *Evaluación de riesgos en suelos afectados por hidrocarburos de petróleo (Tesis Doctoral)*. Universidad de Cantabria, Santander.
- Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja, Valencia (2011). *Estudio de Paisaje*.
- Redes de Seguimiento del Estado e Información Hidrológica (2017). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Consulta realizada en <http://sig.mapama.es/redes-seguimiento/visor.html?> (Marzo, 2017).
- Reglamento Técnico Ambiental para Estaciones de Servicios (2007). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consulta realizada en <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/dom105085anx.pdf>

- Rivera, A. (2012). Los climas de la Comunitat Valenciana. *El Levante*. Recuperado de <http://eltiempo.lasprovincias.es/articulos-divulgacion/los-climas-comunitat-valenciana>
- Rosales, R.M. (2013). *Detección y evaluación de la contaminación del suelo por tanques enterrados de almacenamiento de hidrocarburos en estaciones de servicio (Tesis doctoral)*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Shiguango, N and Gordón, J. (2012). *Contaminación de Aguas Subterráneas por Líquidos Ligeros en Fase no Acuosa (LNAPL) y Líquidos Densos en Fase no Acuosa (DNAPLS)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Solanas, A. and Riera, M. (2009). *Guia de Bioremediació de sòls contaminats per hidrocarburs del petroli*. Agència de Residus de Catalunya. Universitat de Barcelona, Facultat de Biologia.
- Xu, M. y Eckstein, Y. (1995). *Use of weighted least-squares method in evaluation of the relationship between dispersivity and field scale*. Ground Water, Vol. 33 (6), pp 905-908.

ANEXOS

ANEXO 1: Red piezométrica de la zona

PIEZÓMETRO 1

1. Identificación del piezómetro.

MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y RURAL

REDES DE REGUIMIENTO

identificar de:
Red Piezométrica

capa:
Piezometría

datos de 08.25.008

Piezómetro	Ver informe
Cód. Piezómetro	08.25.008
Nombre	88 CHJ Fesa-Beniparell
Prof. Obra (m)	0
Coord. X (UTM 30)	720.872
Coord. Y (UTM 30)	4.361.509
Cota (msnm)	19,88
Masa de Agua Subterránea	Plana de Valencia Norte
Demarcación Hidrográfica	Júcar
Provincia	Valencia
Municipio	Aicàsser
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.

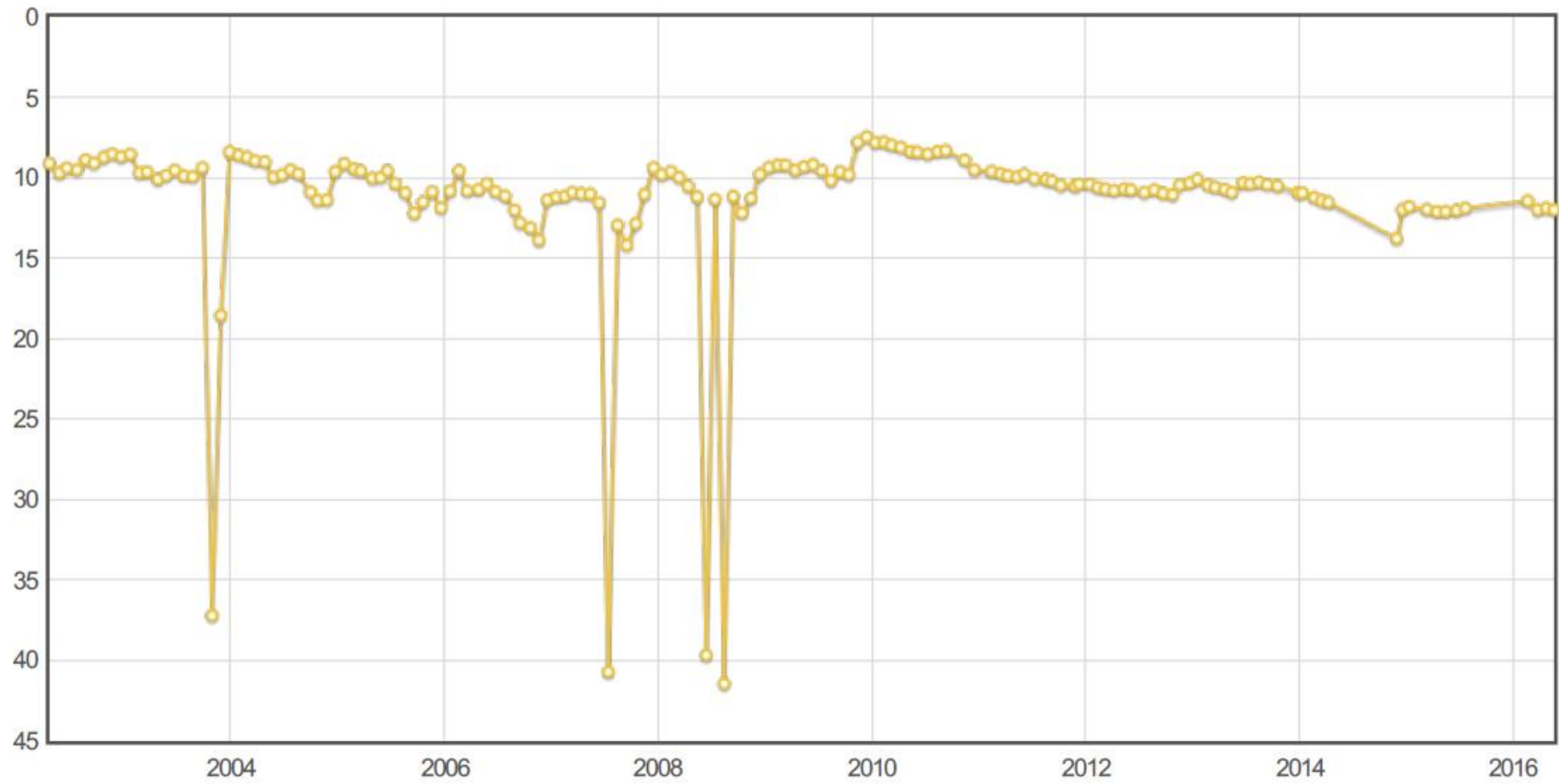
mantener selección limpiar selección

Datum ETRS89 Proyección UTM 30N X: 728.452,59 Y: 4.365.773,21 1:125.000

2. Localización geográfica del piezómetro.

Localización geográfica del piezómetro 08.25.008	
Demarcación Hidrográfica	JUCAR
Cod. Piezómetro	08.25.008
Nombre	88 CHJ Fesa-Beniparrell
Coordenada X (ETRS89)	720.872
Coordenada Y (ETRS89)	4.361.509
Cota (msnm)	20
Profundidad obra (m)	
Masa de Agua	Plana de Valencia Norte
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.
Provincia	Valencia
Municipio	Alcàsser

3. Niveles del piezómetro.



Fecha	Nivel								
22-03-2002	9,10	25-09-2004	11,41	14-04-2007	11,01	14-11-2009	7,46	22-08-2012	10,96
26-04-2002	9,70	25-10-2004	11,38	14-05-2007	11,56	13-12-2009	7,81	25-09-2012	11,06
21-05-2002	9,40	24-11-2004	9,62	15-06-2007	40,70	12-01-2010	7,79	18-10-2012	10,46
25-06-2002	9,51	24-12-2004	9,12	16-07-2007	12,95	09-02-2010	7,98	22-11-2012	10,33
24-07-2002	8,89	27-01-2005	9,46	16-08-2007	14,19	09-03-2010	8,11	17-12-2012	10,11
22-08-2002	9,09	21-02-2005	9,58	17-09-2007	12,85	13-04-2010	8,37	22-01-2013	10,45
25-09-2002	8,73	30-03-2005	10,03	16-10-2007	11,03	05-05-2010	8,42	19-02-2013	10,59
23-10-2002	8,52	28-04-2005	9,98	17-11-2007	9,38	11-06-2010	8,53	21-03-2013	10,72
23-11-2002	8,69	20-05-2005	9,56	14-12-2007	9,81	14-07-2010	8,37	15-04-2013	10,91
23-12-2002	8,54	17-06-2005	10,36	14-01-2008	9,62	10-08-2010	8,32	23-05-2013	10,31
24-01-2003	9,70	20-07-2005	10,94	13-02-2008	9,97	14-10-2010	8,90	17-06-2013	10,37
22-02-2003	9,64	20-08-2005	12,21	13-03-2008	10,52	17-11-2010	9,51	15-07-2013	10,27
28-03-2003	10,10	20-09-2005	11,51	14-04-2008	11,19	14-01-2011	9,61	13-08-2013	10,43
26-04-2003	9,86	20-10-2005	10,87	14-05-2008	39,66	17-02-2011	9,74	18-09-2013	10,51
25-05-2003	9,53	20-11-2005	11,87	14-06-2008	11,34	10-03-2011	9,86	27-11-2013	10,93
26-06-2003	9,89	20-12-2005	10,82	14-07-2008	41,43	13-04-2011	9,94	11-12-2013	10,94
25-07-2003	9,93	20-01-2006	9,57	14-08-2008	11,16	06-05-2011	9,78	21-01-2014	11,23
27-08-2003	9,38	20-02-2006	10,81	14-09-2008	12,19	10-06-2011	10,06	18-02-2014	11,42
30-09-2003	37,20	28-03-2006	10,73	14-10-2008	11,27	19-07-2011	10,11	10-03-2014	11,53
29-10-2003	18,55	26-04-2006	10,37	14-11-2008	9,79	08-08-2011	10,21	29-10-2014	13,78
29-11-2003	8,39	25-05-2006	10,87	14-12-2008	9,37	08-09-2011	10,47	19-11-2014	11,98
29-12-2003	8,60	27-06-2006	11,13	14-01-2009	9,21	25-10-2011	10,52	11-12-2014	11,80
27-01-2004	8,73	29-07-2006	12,02	12-02-2009	9,22	10-11-2011	10,40	13-02-2015	11,97
25-02-2004	8,95	17-08-2006	12,81	14-03-2009	9,53	15-12-2011	10,40	16-03-2015	12,11
27-03-2004	9,01	22-09-2006	13,12	14-04-2009	9,32	12-01-2012	10,60	16-04-2015	12,10
27-04-2004	9,96	20-10-2006	13,88	14-05-2009	9,19	09-02-2012	10,70	22-05-2015	12,04
25-05-2004	9,82	19-11-2006	11,38	14-06-2009	9,56	07-03-2012	10,80	22-06-2015	11,89
24-06-2004	9,51	18-12-2006	11,21	14-07-2009	10,17	12-04-2012	10,70	20-01-2016	11,44
20-07-2004	9,75	17-01-2007	11,15	14-08-2009	9,63	04-05-2012	10,76	25-02-2016	11,99
31-08-2004	10,89	14-02-2007	10,91	14-09-2009	9,81	20-06-2012	10,91	24-03-2016	11,89
		14-03-2007	10,99	14-10-2009	7,79	23-07-2012	10,76	20-04-2016	11,99

PIEZÓMETRO 2

1. Identificación del piezómetro.

The screenshot displays a GIS interface with a map of the region around Sagunto, Spain. A pop-up window titled 'identificar' is open, showing the following details for piezometer 08.25.094:

identificar de: Red Piezométrica

capa: Piezometría

datos de 08.25.094

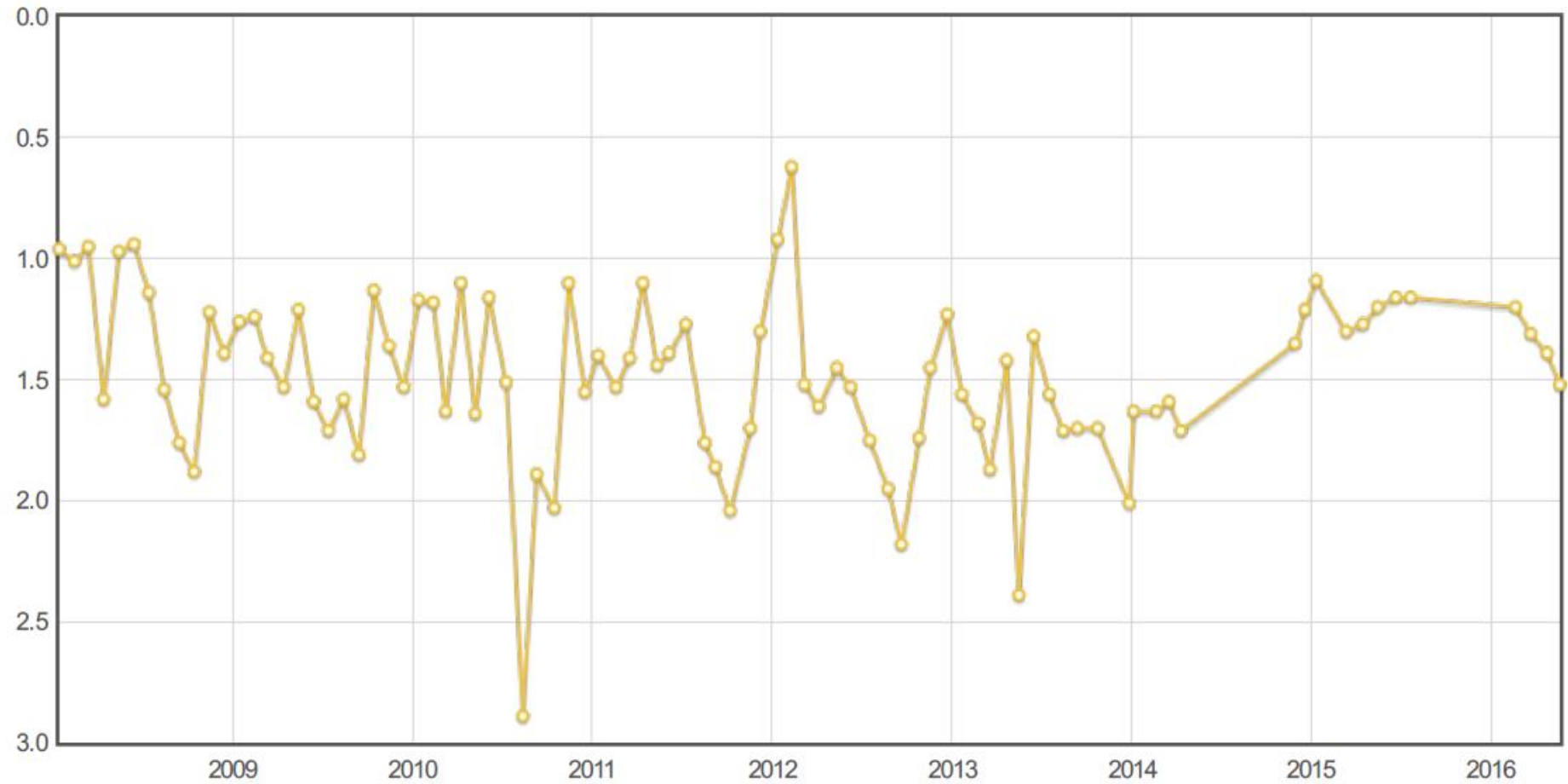
Piezómetro	Ver informe
Cód. Piezómetro	08.25.094
Nombre	
Prof. Obra (m)	0
Coord. X (UTM 30)	726.168
Coord. Y (UTM 30)	4.363.522
Cota (msnm)	1
Masa de Agua Subterránea	Plana de Valencia Norte
Demarcación Hidrográfica	Júcar
Provincia	Valencia
Municipio	Catarroja
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.

At the bottom of the pop-up, there are buttons for 'mantener selección' and 'limpiar selección'. The map background shows various roads (Cu-406, Cu-407, Cu-400, Cu-401, Cu-416, Cu-435, Cv-42) and towns (Paiporta, Alfafar, Sedavi, Lugar Nuevo De La Corona, Massanassa, Catarroja, Albal, Beniparell, Alcásser, Silla, Almusafes, Benitaió, Sollana). A scale bar indicates 3km and the map scale is 1:125.000.

2. Localización geográfica del piezómetro.

Localización geográfica del piezómetro 08.25.094	
Demarcación Hidrográfica	JUCAR
Cod. Piezómetro	08.25.094
Nombre	
Coordenada X (ETRS89)	726.168
Coordenada Y (ETRS89)	4.363.522
Cota (msnm)	1
Profundidad obra (m)	
Masa de Agua	Plana de Valencia Norte
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.
Provincia	Valencia
Municipio	Catarroja

3. Niveles del piezómetro.



Fecha	Nivel
14-12-2007	0,96
14-01-2008	1,01
13-02-2008	0,95
13-03-2008	1,58
14-04-2008	0,97
14-05-2008	0,94
14-06-2008	1,14
14-07-2008	1,54
14-08-2008	1,76
14-09-2008	1,88
14-10-2008	1,22
14-11-2008	1,39
14-12-2008	1,26
14-01-2009	1,24
12-02-2009	1,41
14-03-2009	1,53
14-04-2009	1,21
14-05-2009	1,59
14-06-2009	1,71
14-07-2009	1,58
14-08-2009	1,81

14-09-2009	1,13
14-10-2009	1,36
14-11-2009	1,53
13-12-2009	1,17
12-01-2010	1,18
09-02-2010	1,63
09-03-2010	1,10
08-04-2010	1,64
05-05-2010	1,16
10-06-2010	1,51
13-07-2010	2,89
10-08-2010	1,89
16-09-2010	2,03
14-10-2010	1,10
17-11-2010	1,55
13-12-2010	1,40
18-01-2011	1,53
18-02-2011	1,41
14-03-2011	1,10
13-04-2011	1,44
06-05-2011	1,39
10-06-2011	1,27

18-07-2011	1,76
08-08-2011	1,86
08-09-2011	2,04
18-10-2011	1,70
08-11-2011	1,30
13-12-2011	0,92
10-01-2012	0,62
07-02-2012	1,52
05-03-2012	1,61
12-04-2012	1,45
09-05-2012	1,53
18-06-2012	1,75
24-07-2012	1,95
20-08-2012	2,18
26-09-2012	1,74
18-10-2012	1,45
22-11-2012	1,23
21-12-2012	1,56
23-01-2013	1,68
19-02-2013	1,87
22-03-2013	1,42
17-04-2013	2,39

16-05-2013	1,32
18-06-2013	1,56
15-07-2013	1,71
13-08-2013	1,70
24-09-2013	1,70
27-11-2013	2,01
05-12-2013	1,63
20-01-2014	1,63
18-02-2014	1,59
11-03-2014	1,71
29-10-2014	1,35
19-11-2014	1,21
11-12-2014	1,09
13-02-2015	1,30
16-03-2015	1,27
16-04-2015	1,20
22-05-2015	1,16
22-06-2015	1,16
20-01-2016	1,20
22-02-2016	1,31
24-03-2016	1,39
20-04-2016	1,52

PIEZÓMETRO 3

1. Identificación del piezómetro.

identificar

identificar de:
Red Piezométrica

capa:
Piezometría

datos de 08.27.010

Piezómetro	Ver informe
Cód. Piezómetro	08.27.010
Nombre	292910037
Prof. Obra (m)	0
Coord. X (UTM 30)	718.462
Coord. Y (UTM 30)	4.355.852
Cota (msnm)	52
Masa de Agua Subterránea	Buñol - Ceste
Demarcación Hidrográfica	Júcar
Provincia	Valencia
Municipio	Picassent
Unidad Hidrogeológica	Caroch Norte

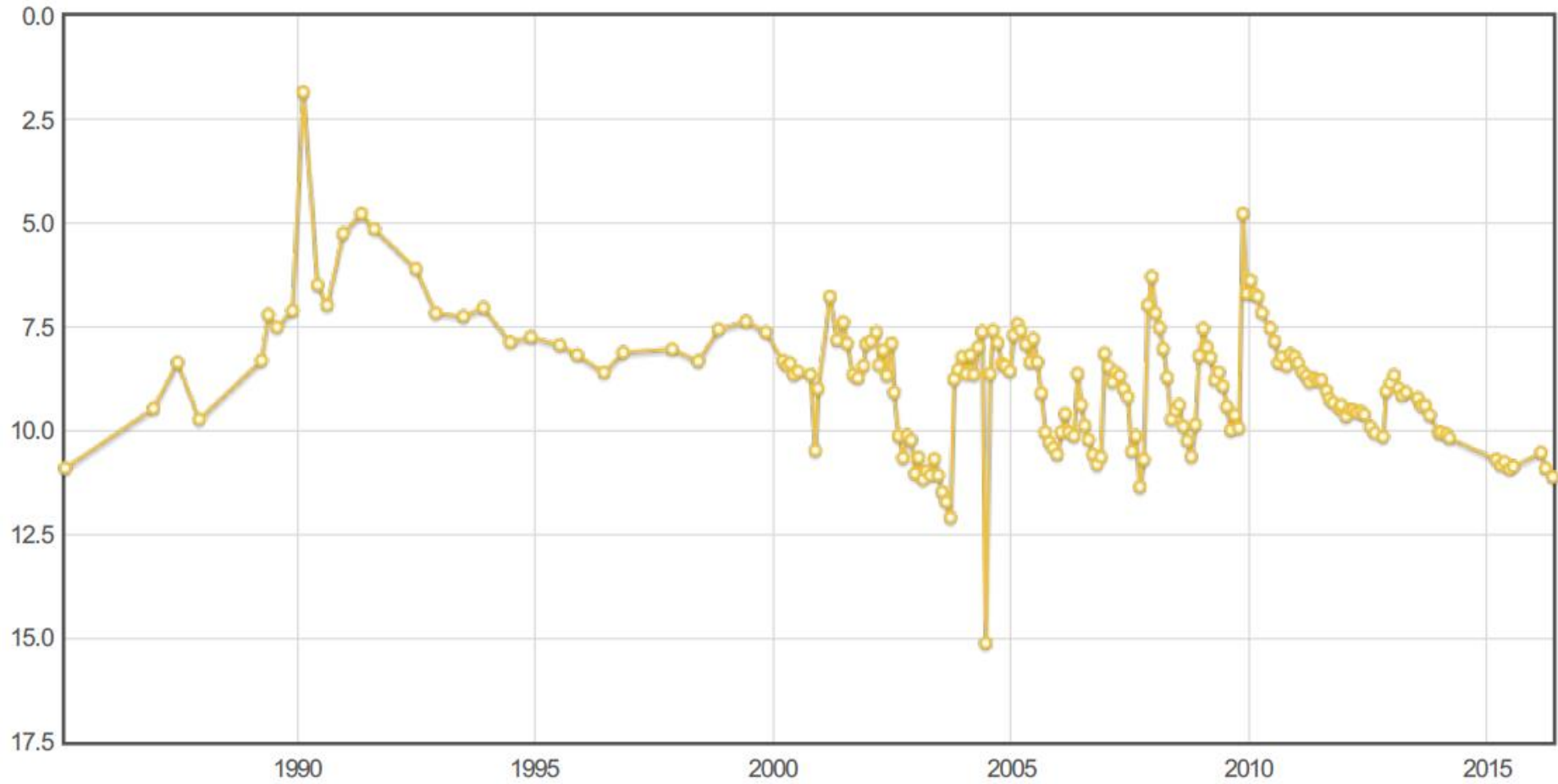
mantener selección limpiar selección

4.354.958,35 1:125.000

2. Localización geográfica del piezómetro.

Localización geográfica del piezómetro 08.27.010	
Demarcación Hidrográfica	JUCAR
Cod. Piezómetro	08.27.010
Nombre	292910037
Coordenada X (ETRS89)	718.462
Coordenada Y (ETRS89)	4.355.852
Cota (msnm)	52
Profundidad obra (m)	
Masa de Agua	Buñol - Cheste
Unidad Hidrogeológica	Caroch Norte
Provincia	Valencia
Municipio	Picassent

3. Niveles del piezómetro.



Fecha	Nivel
16-01-1985	10,90
25-11-1986	9,46
29-05-1987	8,35
12-11-1987	9,72
03-03-1989	8,30
25-04-1989	7,20
30-06-1989	7,50
26-10-1989	7,10
17-01-1990	1,83
07-05-1990	6,48
20-07-1990	6,97
20-11-1990	5,24
09-04-1991	4,76
16-07-1991	5,13
30-05-1992	6,09
30-10-1992	7,16
30-05-1993	7,24
30-10-1993	7,03
25-05-1994	7,86
30-10-1994	7,74
09-06-1995	7,93
20-10-1995	8,17
13-05-1996	8,59
07-10-1996	8,11
18-10-1997	8,03
06-05-1998	8,32

10-10-1998	7,55
07-05-1999	7,36
08-10-1999	7,62
17-02-2000	8,31
17-03-2000	8,42
11-04-2000	8,37
08-05-2000	8,64
12-06-2000	8,57
14-09-2000	8,64
20-10-2000	10,47
11-11-2000	8,98
12-02-2001	6,76
06-04-2001	7,81
22-05-2001	7,38
22-06-2001	7,89
07-08-2001	8,64
13-09-2001	8,72
25-10-2001	8,43
14-11-2001	7,90
19-12-2001	7,84
31-01-2002	7,62
24-02-2002	8,41
25-03-2002	8,05
22-04-2002	8,66
29-05-2002	7,89
18-06-2002	9,07
21-07-2002	10,12

25-08-2002	10,65
25-09-2002	10,11
25-10-2002	10,22
25-11-2002	11,03
22-12-2002	10,64
25-01-2003	11,17
22-02-2003	10,97
22-03-2003	11,07
22-04-2003	10,68
21-05-2003	11,07
22-06-2003	11,47
21-07-2003	11,71
23-08-2003	12,09
22-09-2003	8,75
21-10-2003	8,52
23-11-2003	8,21
21-12-2003	8,62
23-01-2004	8,17
21-02-2004	8,64
23-03-2004	7,98
23-04-2004	7,61
20-05-2004	15,12
24-06-2004	8,62
15-07-2004	7,58
20-08-2004	7,87
22-09-2004	8,38
15-10-2004	8,43

22-11-2004	8,56
21-12-2004	7,69
20-01-2005	7,42
15-02-2005	7,58
23-03-2005	7,91
27-04-2005	8,34
20-05-2005	7,78
21-06-2005	8,34
20-07-2005	9,09
20-08-2005	10,03
20-09-2005	10,27
20-10-2005	10,41
20-11-2005	10,57
20-12-2005	10,03
20-01-2006	9,59
20-02-2006	10,03
28-03-2006	10,12
26-04-2006	8,62
23-05-2006	9,37
19-06-2006	9,87
18-07-2006	10,21
22-08-2006	10,57
22-09-2006	10,81
20-10-2006	10,63
19-11-2006	8,13
18-12-2006	8,45
17-01-2007	8,82

14-02-2007	8,58
15-03-2007	8,67
14-04-2007	8,98
15-05-2007	9,18
16-06-2007	10,49
17-07-2007	10,12
16-08-2007	11,35
17-09-2007	10,69
16-10-2007	6,96
17-11-2007	6,28
14-12-2007	7,16
14-01-2008	7,51
13-02-2008	8,02
13-03-2008	8,71
14-04-2008	9,72
14-05-2008	9,51
14-06-2008	9,37
14-07-2008	9,89
14-08-2008	10,24
14-09-2008	10,62
14-10-2008	9,85
14-11-2008	8,19

14-12-2008	7,53
14-01-2009	7,98
12-02-2009	8,23
14-03-2009	8,77
14-04-2009	8,59
14-05-2009	8,92
14-06-2009	9,41
14-07-2009	9,98
14-08-2009	9,62
14-09-2009	9,93
14-10-2009	4,76
14-11-2009	6,69
13-12-2009	6,37
12-01-2010	6,70
08-02-2010	6,76
10-03-2010	7,15
14-05-2010	7,52
16-06-2010	7,84
14-07-2010	8,35
10-08-2010	8,22
16-09-2010	8,43
14-10-2010	8,15

17-11-2010	8,21
13-12-2010	8,36
14-01-2011	8,57
17-02-2011	8,67
10-03-2011	8,82
18-04-2011	8,73
13-05-2011	8,78
10-06-2011	8,77
19-07-2011	9,03
08-08-2011	9,22
08-09-2011	9,32
25-10-2011	9,45
10-11-2011	9,38
15-12-2011	9,65
12-01-2012	9,48
09-02-2012	9,49
07-03-2012	9,55
12-04-2012	9,54
04-05-2012	9,61
20-06-2012	9,90
23-07-2012	10,05
25-09-2012	10,14

18-10-2012	9,04
22-11-2012	8,85
18-12-2012	8,66
21-01-2013	8,97
19-02-2013	9,14
21-03-2013	9,07
19-06-2013	9,21
15-07-2013	9,39
13-08-2013	9,39
18-09-2013	9,62
27-11-2013	10,04
11-12-2013	10,03
23-01-2014	10,08
18-02-2014	10,17
13-02-2015	10,69
16-03-2015	10,82
16-04-2015	10,75
22-05-2015	10,92
22-06-2015	10,86
20-01-2016	10,52
25-02-2016	10,90
20-04-2016	11,11

PIEZÓMETRO 4

1. Identificación del piezómetro.

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO

identificar

identificar de:
Red Piezométrica

capa:
Piezometría

datos de 08.25.095

Piezómetro	Ver informe
Cód. Piezómetro	08.25.095
Nombre	
Prof. Obra (m)	0
Coord. X (UTM 30)	724.683
Coord. Y (UTM 30)	4.356.287
Cota (msnm)	0,62
Masa de Agua Subterránea	Plana de Valencia Sur
Demarcación Hidrográfica	Júcar
Provincia	Valencia
Municipio	Valencia
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.

mantener selección limpiar selección

Y: 4.352.014,85 1:125.000

2. Localización geográfica del piezómetro.

Localización geográfica del piezómetro 08.25.095	
Demarcación Hidrográfica	JUCAR
Cod. Piezómetro	08.25.095
Nombre	
Coordenada X (ETRS89)	724.683
Coordenada Y (ETRS89)	4.356.287
Cota (msnm)	1
Profundidad obra (m)	
Masa de Agua	Plana de Valencia Sur
Unidad Hidrogeológica	Plana Valencia N.
Provincia	Valencia
Municipio	Valencia

Fecha	Nivel
14-12-2007	0,65
14-01-2008	0,77
13-02-2008	0,75
13-03-2008	0,97
14-04-2008	1,64
14-05-2008	1,51
14-06-2008	1,52
14-07-2008	1,47
14-08-2008	1,61
14-09-2008	1,64
14-10-2008	0,72
14-11-2008	0,61
14-12-2008	0,63
14-01-2009	0,78
12-02-2009	0,80
14-03-2009	1,56
14-04-2009	1,62
14-05-2009	1,49
14-06-2009	1,55
14-07-2009	1,53
14-08-2009	1,59

14-09-2009	1,61
14-10-2009	0,65
14-11-2009	0,63
13-12-2009	0,67
08-02-2010	0,81
08-03-2010	1,22
08-04-2010	1,63
05-05-2010	1,71
22-06-2010	1,83
13-07-2010	2,70
13-08-2010	1,81
15-09-2010	1,69
11-10-2010	1,47
17-11-2010	0,63
10-12-2010	0,59
14-01-2011	0,82
18-02-2011	0,81
14-03-2011	1,39
13-04-2011	1,63
06-05-2011	1,61
10-06-2011	1,42
18-07-2011	1,56

08-08-2011	1,63
08-09-2011	1,65
18-10-2011	1,02
08-11-2011	0,70
13-12-2011	0,95
10-01-2012	0,75
07-02-2012	0,82
05-03-2012	1,52
12-04-2012	1,51
09-05-2012	1,61
18-06-2012	1,57
24-07-2012	1,68
20-08-2012	1,64
26-09-2012	1,81
18-10-2012	0,80
22-11-2012	0,59
21-12-2012	0,71
22-01-2013	0,87
19-02-2013	1,21
21-03-2013	1,57
16-04-2013	2,60
22-05-2013	1,61

18-06-2013	1,56
15-07-2013	1,71
13-08-2013	1,73
23-09-2013	1,74
27-11-2013	0,83
05-12-2013	0,72
20-01-2014	0,81
18-02-2014	0,87
11-03-2014	1,23
29-10-2014	0,90
19-11-2014	0,98
11-12-2014	0,61
13-02-2015	0,79
16-03-2015	1,54
16-04-2015	1,62
21-05-2015	1,60
22-06-2015	1,49
20-01-2016	0,77
22-02-2016	0,76
24-03-2016	1,57
20-04-2016	1,59

ANEXO 2: Parámetros químicos de los compuestos de interés

PROPIEDADES FÍSICAS

Datos de propiedades físicas														
Compuesto	Número CAS	Tipo	Peso molecular (g/mol)		Solubilidad acuosa (@ 20 - 25 C) (mg/L)		Límite calculado de saturación del suelo (mg/kg)	Presión de vapor (@ 20 - 25 C) (mm Hg)		Constante de Henry (@ 20 - 25 C) (-)		log (Koc) o log (Kd) (@ 20 - 25 C) log(L/kg)		
Hexano, n-	110-54-3	0	86,17716	TX11	13	TX11	2,82E+02	1,52E+02	TX11	4,66E+01	TX11	2,68E+00	Koc	TX11
Naftaleno	91-20-3	0	128,17352	TX11	31,4	TX11	1,78E+03	8,89E-02	TX11	2,00E-02	TX11	3,19E+00	Koc	TX11
Octanona	106-68-3	0	128,2138	TX11	1652,416964	TX11	8,65E+03	1,50E+00	TX11	6,35E-03	TX11	2,15E+00	Koc	TX11
Tolueno	108-88-3	0	92,14052	TX11	530	TX11	2,79E+03	2,82E+01	TX11	2,76E-01	TX11	2,15E+00	Koc	TX11
Etil benceno	100-41-4	0	106,1674	TX11	169	TX11	1,29E+03	9,60E+00	TX11	3,28E-01	TX11	2,31E+00	Koc	TX11
Xileno, o-	95-47-6	0	106,1674	TX11	178	TX11	8,61E+02	6,75E+00	TX11	7,36E-04	TX11	2,11E+00	Koc	TX11
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	0	120,19	TX11	56,8	TX11	1,94E+03	1,59E+00	TX11	1,84E-01	TX11	2,97E+00	Koc	TX11
Benceno	71-43-2	0	78,11364	TX11	1770	TX11	4,54E+03	9,50E+01	TX11	2,27E-01	TX11	1,82E+00	Koc	TX11
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	0	88,14968	TX11	48000	TX11	3,13E+04	2,49E+02	TX11	2,44E-02	TX11	1,15E+00	Koc	TX11

Datos sobre propiedades físicas														
Compuesto	Número CAS	Tipo	Kd de inorgánicos específico según pH						log(Kow) (@ 20 - 25 C) log(L/kg)	Coeficientes de difusión				
			Columna de suelo superficial			Acuífero				aire (cm ² /s)	agua (cm ² /s)			
			pendiente de curva	ordenada al origen	logKd_pH (L/kg)	pendiente de curva	ordenada al origen	logKd_pH (L/kg)						
Hexano, n-	110-54-3	0	-	-	-	-	-	-	3,29E+00	TX11	2,00E-01	TX11	7,77E-06	TX11
Naftaleno	91-20-3	0	-	-	-	-	-	-	3,17E+00	TX11	5,90E-02	TX11	7,50E-06	TX11
Octanona	106-68-3	0	-	-	-	-	-	-	2,61E+00	TX11	5,78E-02	TX11	6,67E-06	TX11
Tolueno	108-88-3	0	-	-	-	-	-	-	2,54E+00	TX11	8,70E-02	TX11	8,60E-06	TX11
Etil benceno	100-41-4	0	-	-	-	-	-	-	3,03E+00	TX11	7,50E-02	TX11	7,80E-06	TX11
Xileno, o-	95-47-6	0	-	-	-	-	-	-	3,13E+00	TX11	8,70E-02	TX11	1,00E-05	TX11
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	0	-	-	-	-	-	-	3,65E+00	TX11	6,22E-02	TX11	7,28E-06	TX11
Benceno	71-43-2	0	-	-	-	-	-	-	1,99E+00	TX11	8,80E-02	TX11	9,80E-06	TX11
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	0	-	-	-	-	-	-	1,43E+00	TX11	7,92E-02	TX11	9,41E-05	TX11

PARÁMETROS MISCELÁNEOS

Parámetros misceláneos															
Compuesto	Número CAS	Tipo	Límites de detección analítica				Tiempo de vida media (Degradación de primer orden)			Factor de biodisponibilidad relativa		Factor calculado de concentración		Factor de bioconcentración	
			agua subterránea (mg/L)		suelo (mg/kg)		saturado (días)	no saturado (días)		en hojas (mg/kg)/(mg/L)	en raíces (mg/kg)/(mg/L)				
Hexano, n-	110-54-3	O	-	-	-	-	-	-	-	1,00E+00	TX11	3,91E+00	1,11E+01	190	LY
Naftaleno	91-20-3	O	1,00E-02	S2	1,00E-02	S2	2,58E+02	2,58E+02	H	1,00E+00	TX11	3,54E+00	9,14E+00	430	LY
Octanona	106-68-3	O	-	-	-	-	-	-	-	1,00E+00	TX11	2,07E+00	3,91E+00	57	LY
Tolueno	108-88-3	O	2,00E-03	S	5,00E-03	S	2,80E+01	2,80E+01	H	1,00E+00	TX11	1,94E+00	3,55E+00	70	LY
Etil benceno	100-41-4	O	2,00E-03	S	5,00E-03	S	2,28E+02	2,28E+02	H	1,00E+00	TX11	3,13E+00	7,34E+00	120	LY
Xileno, o-	95-47-6	O	5,00E-03	S	-	-	3,60E+02	3,60E+02	H	1,00E+00	TX11	3,42E+00	8,58E+00	140	LY
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	O	-	-	-	-	5,60E+01	5,60E+01	H	1,00E+00	TX11	5,05E+00	2,03E+01	350	LY
Benceno	71-43-2	O	2,00E-03	S	5,00E-03	S	7,20E+02	7,20E+02	H	1,00E+00	TX11	1,17E+00	1,85E+00	12,6	LY
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	O	-	-	-	-	3,60E+02	1,80E+02	H	1,00E+00	TX11	7,63E-01	1,20E+00	7,2	LY

EXPOSICIÓN DÉRMICA

Exposición dérmica														
Compuesto	Número CAS	Tipo	Datos de permeabilidad dérmica del agua						Factor calculado de absorción dérmica relativa	Fracción de absorción				
			Coef. de permeabilidad dérmica (cm/hr)	Lapso de retraso para exposición dérmica (hr)	Tiempo crítico para la exposición (hr)	Contr. Relativa del coef. de permeab. dérmica	Factor calculado de absorción agua/piel			dérmica (-)	gastrointestinal (-)			
Hexano, n-	110-54-3	O	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0,8	TX11
Naftaleno	91-20-3	O	0,069	0,53	2,2	0,2	0,27002	D	0,146067416	0,13	0,89	0,8	TX11	
Octanona	106-68-3	O	-	-	-	-	-	-	0	0	0,8	0,8	TX11	
Tolueno	108-88-3	O	0,045	0,32	0,77	0,054	0,159834535	D	0	0	0,8	0,8	TX11	
Etil benceno	100-41-4	O	0,074	0,39	1,3	0,14	0,266633684	D	0	0	0,97	0,97	TX11	
Xileno, o-	95-47-6	O	-	-	-	-	-	-	0	0	0,8	0,8	TX11	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	O	-	-	-	-	-	-	0	0	0,8	0,8	TX11	
Benceno	71-43-2	O	0,021	0,26	0,63	0,013	0,073391787	D	0	0	0,97	0,97	TX11	
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	O	-	-	-	-	-	-	0	0	0,8	0,8	TX11	

ESTÁNDARES LEGALES

Estándares legales						
Compuesto	Número CAS	Tipo	Nivel máximo de contaminante (MCL) (mg/L)		Criterio Time-Weighted Average (TWA) en el ambiente laboral (mg/m ³)	
Hexano, n-	110-54-3	O	-	-	1800	OS
Naftaleno	91-20-3	O	-	-	50	OS
Octanona	106-68-3	O	-	-	-	-
Tolueno	108-88-3	O	1	MC	754	OS
Etil benceno	100-41-4	O	0,7	MC	435	OS
Xileno, o-	95-47-6	O	10	MC	435	OS
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	O	-	-	-	-
Benceno	71-43-2	O	0,005	MC	3,19	OS
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	O	-	-	144	AC

Estándares legales												
Criterios de calidad para las aguas superficiales												
Compuesto	Número CAS	Tipo	Protección de la vida acuática				Protección de la salud humana					
			en aguas dulces (mg/L)		en ambientes marinos (mg/L)		Ingesta y peces de agua dulce (mg/L)		Peces de agua dulce (mg/L)		Peces de agua salada (mg/L)	
Hexano, n-	110-54-3	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	91-20-3	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Octanona	106-68-3	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tolueno	108-88-3	O	-	-	-	-	6,8	E	200	E	200	E
Etil benceno	100-41-4	O	-	-	-	-	3,1	E	29	E	29	E
Xileno, o-	95-47-6	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benceno	71-43-2	O	-	-	-	-	0,005	T3	0,106	T3	0,0708	T3
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PARÁMETROS SOBRE TOXICIDAD

Parámetros sobre toxicidad														
Compuesto	Número CAS	Tipo	RfD ó TDSI oral (mg/kg/día)		RfD ó TDSI dérmico (mg/kg/día)		RfC ó TCA equivalente inhalación (mg/m3)		Factor de pendiente equivalente oral 1/(mg/kg/día)		Factor de pendiente equivalente dérmico 1/(mg/kg/día)		Factor Unitario equivalente de riesgo por inhalación 1/(µg/m3)	
Hexano, n-	110-54-3	O	0,06	TX11	0,06	D2	0,67	TX11	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	91-20-3	O	0,02	EPA-I	0,02	D2	0,003	EPA-I	-	-	-	-	-	-
Octanona	106-68-3	O	0,06	TX11	0,06	D2	18	TX11	-	-	-	-	-	-
Tolueno	108-88-3	O	0,08	EPA-I	0,08	D2	4,1	TX11	-	-	-	-	-	-
Etil benceno	100-41-4	O	0,1	EPA-I	0,1	D2	1,9	TX11	-	-	-	-	-	-
Xileno, o-	95-47-6	O	2	TX11	2	D2	0,61	TX11	-	-	-	-	-	-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	95-63-6	O	0,05	TX11	0,05	D2	0,007	TX11	-	-	-	-	-	-
Benceno	71-43-2	O	0,004	EPA-I	0,004	D2	0,28	TX11	0,015	TX11	0,015	D2	0,0000022	TX11
Metil t-butil éter (MTBE)	1634-04-4	O	0,01	TX11	0,01	D2	3	EPA-I	0,0018	TX11	0,0018	D2	0,00000026	TX11

ANEXO 3: Resumen de datos (CASO A)

Parámetros de exposición		Residencial				Comercial/Industrial		Definido por el usuario
		Niño*	Adolescente	Adulto	Ajustado por edad**	Adulto	Construcción	
ATc	Tiempo promedio para agentes cancerígenos (años)	70	70	70	N/A	70	70	-
ATn	Tiempo promedio para agentes no cancerígenos (años)	6	12	30	N/A	25	1	-
BW	Peso corporal (kg)	15	35	70	N/A	70	70	-
ED	Duración de la exposición (años)	6	12	30	N/A	25	1	-
τ	Tiempo promedio para el flujo de vapor (años)	30	30	30	N/A	30	30	-
EF	Frecuencia de la exposición (días/año)	350	350	350	N/A	250	180	-
EFD	Frecuencia de exposición para la exposición dérmica (días/año)	350	350	350	N/A	250	180	-
IRw	Tasa de ingestión de agua (L/día)	1	1	2	2,5	1	N/A	-
IRs	Tasa de ingestión de suelo (mg/día)	200	200	100	387	50	100	-
SA	Área de la superficie de la piel (estacional) (cm ²)	2023	2023	3160	4771	3160	3160	-
M	Factor de adherencia del suelo a la piel	0,5	0,5	0,5	N/A	0,5	0,5	-
ETswim	Tiempo de exposición por inmersión (hr/veces)	1	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A
EVswim	Frecuencia de las inmersiones (veces/año)	12	12	12	N/A	N/A	N/A	N/A
IRswim	Ingestión del agua durante la inmersión (L/hr)	0,5	0,5	0,05	0,3	N/A	N/A	N/A
SAswim	Área de la superficie de la piel durante la inmersión (cm ²)	3500	8100	23000	15680	N/A	N/A	N/A
IRfish	Tasa de ingestión de pescado (kg/año)	0,025	0,025	0,025	0,053	N/A	N/A	N/A
FIfish	Fracción de pescado contaminado (-)	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
IRbg	Ingestión de vegetales subterráneos (kg/día)	0,002	0,002	0,006	2,053	N/A	N/A	N/A
IRabg	Ingestión de vegetales superficiales (kg/día)	0,001	0,001	0,002	0,887	N/A	N/A	N/A
VGbg	Factor de corrección para ingestión de vegetales superficiales	0,01	0,01	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A
VGabg	Factor de corrección para ingestión de vegetales subterráneos	0,01	0,01	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A

* = Se usa niño como el receptor para agentes no cancerígenos.

** = La tasa ajustada por edad es un valor efectivo que equivale a los factores de exposición de adultos.

Receptores y rutas de exposición	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
Agua subterránea:			
Ingestión de agua subterránea	Ninguno	Residencial	Ninguno
Lixiviación de suelos a ingesta de agua subterránea	Ninguno	Residencial	Ninguno
Aplicar MCL	No	No	No
Rutas de exposición aplicables a agua superficial:			
Natación	NA	NA	Ninguno
Consumo de pescado	NA	NA	Ninguno
Protección de la vida acuática	NA	NA	Ninguno
Suelo:			
Contacto Directo: Ingestión, Contacto Dérmico, Inhalación	Residencial	NA	NA
Aire exterior:			
Partículas de los suelos superficiales	Comercial	Residencial	Comercial
Volatilización desde los suelos	Comercial	Residencial	Comercial
Volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial
Aire interior:			
Volatilización desde los suelos	Comercial	NA	NA
Volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial
Lixiviación de suelo, volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial

Distancia del foco al receptor	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Receptor de agua subterránea	NA	500	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire exterior	0	80	130	(m)
Receptor por inhalación de aire interior	0	80	130	(m)

Valores aceptables de riesgo para la salud		Individual	Acumulativo
RA	Riesgo aceptable (agentes cancerígenos)	1,0E-5	1,0E-5
CPA	Cociente de peligro aceptable (riesgo no cancerígeno)	1,0E+0	1,0E+0

Opciones para aplicar modelos	
RBCA tier	Tier 2
Modelo de volatilización a aire exterior	Modelos de suelo superficial y subsuelo: Modelo ASTM
Modelo de volatilización a aire interior	Modelo Johnson & Ettinger
Modelo de lixiviación del suelo	Modelo de lixiviación de ASTM
¿Usar el modelo de atenuación del suelo (SAM) para lixiviación?	No
¿Usar el modelo de desorción con equilibrio dual?	No
¿Aplicar el límite por balance de masa para la volatilización del suelo?	No
Opciones de cálculo para vegetales	NA
Factor de dilución del aire	Modelo Gaussiano de Dispersión 3-D
Factor de atenuación por dilución en agua subterránea	Modelo de Domenico

Parámetros para suelo superficial		Valor			Unidades
h_{cap}	Espesor de la zona capilar	0,21			(m)
h_v	Espesor de la zona vadosa	11,79			(m)
ρ_s	Densidad seca del suelo	1,7			(g/cm ³)
f_{oc}	Fracción de carbono orgánico	0,0365			(-)
θ_T	Porosidad total del suelo	0,38			(-)
		<u>franja capilar</u>	<u>zona vadosa</u>	<u>solera</u>	
θ_w	Contenido volumétrico de agua	0,342	0,23	0,12	(-)
θ_a	Contenido volumétrico de aire	0,038	0,15	0,26	(-)
K_{vs}	Conductividad hidráulica vertical	0,864			(cm/d)
k_v	Permeabilidad al vapor	1E-15			(m ²)
L_{gw}	Profundidad hasta el agua subt.	12			(m)
pH	pH del suelo/agua subterránea	7,5			(-)
W	Longitud del foco paralela al viento	45			(m)
W_{gw}	Longitud del foco paralela al flujo de agua subt.	215			(m)
L_{ss}	Espesor de suelo superficial afectado	1			(m)
A	Área del foco	46225			(m ²)
L_s	Profundidad hasta el tope de suelo afectado	2			(m)
L_{base}	Profundidad hasta la base de suelo afectado	9,99			(m)
L_{subs}	Espesor de suelo afectado	7,99			(m)

Parámetros de aire exterior		Valor	(Unidades)
U_{air}	Velocidad del aire ambiental en la zona de mezcla	4,3	(m/s)
δ_{air}	Altura de la zona de mezcla	2	(m)
Q/C	Inverso de la concentración promedio en el centro del foco	NA	
P_s	Tasa de emisión de partículas en aire	6,9E-14	(g/cm ² /s)
V	Fracción de cubierta vegetal	NA	
U_m	Velocidad anual promedio a 7m	NA	
U_t	Valor umbral de velocidad del aire equivalente a 7m	NA	
F(x)	Función de la velocidad del viento según U_m/U_t	NA	
PEF	Factor de emisión de partículas	3,61047E-12	

Parámetros para edificios		Residencial	Comercial	(Unidades)
L_b	Proporción volumétrica del edificio	2	3	(m)
A_b	Área de la solera	70	70	(m ²)
X_{crk}	Perímetro de la solera	49	34	(m)
ER	Tasa de intercambio del aire en el edificio	0,00014	0,00023	(1/s)
L_{crk}	Espesor de la solera	0,15	0,15	(m)
Z_{crk}	Profundidad hasta el fondo de la solera	0,15	0,15	(m)
η	Fracción agrietada de la solera	0,001	0,001	(-)
dP	Presión diferencial interna/externa	0	0	(g/cm/s ²)
Q_s	Flujo de aire convectivo que atraviesa la placa	0	0	(m ³ /s)
θ_{wcrack}	Contenido de agua en las grietas	0,12	0,12	(-)
θ_{acrack}	Contenido de aire en las grietas	0,26	0,26	(-)
BV	Volumen del edificio	NA	NA	(m ³)
w	Ancho del edificio perpendicular al flujo de agua subt.	NA	NA	(m)
L	Largo del edificio paralelo al flujo de agua subt.	NA	NA	(m)
ν	Porosidad del suelo en la zona saturada	NA	NA	(-)

Parámetros para aguas subterráneas		Valor	(Unidades)
δ_{gw}	Profundidad de la zona de mezcla de agua subt.	2	(m)
I_f	Tasa neta de infiltración de agua subt.	4,572288	(cm/año)
U_{gw}	Velocidad Darcy de agua subt.	0,286848	(cm/d)
V_{gw}	Velocidad de filtración de las aguas subt.	1,509726316	(cm/d)
K_s	Conductividad hidráulica saturada	86,4	(cm/d)
i	Gradiente del agua subt.	0,00124	(-)
S_w	Ancho del foco en agua subt.	45	(m)
S_d	Profundidad del foco en agua subt.	2	(m)
θ_{eff}	Porosidad efectiva en el acuífero	0,19	(-)
f_{oc-sst}	Fración de carbono orgánico en el acuífero	0,003	(-)
pH_{sst}	pH del agua subterránea	7,5	(-)
	¿Se consideró biodegradación?	No	

Parámetros de Transporte		Fuera del sitio 1Fuera del sitio 2Fuera del sitio 1Fuera del sitio 2 (Unidades)			
Transporte lateral en agua subterránea		Ingestión de agua subterránea		Agua subt. a aire interior	
α_x	Dispersividad longitudinal	9,1E+0	NA	3,9E+0	5,1E+0
α_y	Dispersividad transversal	9,1E-1	NA	3,9E-1	5,1E-1
α_z	Dispersividad vertical	9,1E-2	NA	3,9E-2	5,1E-2
Transporte lateral en aire exterior		Suelo - inhal. de aire exterior		Agua subt. - inhal. de aire exterior	
σ_y	Coefficiente de dispersión transversal	8,5E+0	1,3E+1	8,5E+0	1,3E+1
σ_z	Coefficiente de dispersión vertical	5,7E+0	8,9E+0	5,7E+0	8,9E+0
ADF	Factor de dispersión del aire	1,0E+0	1,0E+0	1,9E+0	4,4E+0

Parámetros de Agua Superficial		Fuera del sitio 2	(Unidades)
Q_{sw}	Caudal de agua superficial	NA	(m ³ /s)
W_{pl}	Ancho de la pluma en la descarga de agua sup.	NA	(m)
δ_{pl}	Espesor de la pluma en la descarga de agua sup.	NA	(m)
DF_{sw}	Factor de dilución agua subt./agua sup.	NA	(-)

Nota: NA = No aplica

Anaranjado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

ANEXO 4: Resumen de datos (CASO B)

Parámetros de exposición		Residencial				Comercial/Industrial		Definido por el usuario
		Niño*	Adolescente	Adulto	Ajustado por edad**	Adulto	Construcción	
ATc	Tiempo promedio para agentes cancerígenos (años)	70	70	70	N/A	70	70	-
ATn	Tiempo promedio para agentes no cancerígenos (años)	6	12	30	N/A	25	1	-
BW	Peso corporal (kg)	15	35	70	N/A	70	70	-
ED	Duración de la exposición (años)	6	12	30	N/A	25	1	-
τ	Tiempo promedio para el flujo de vapor (años)	30	30	30	N/A	30	30	-
EF	Frecuencia de la exposición (días/año)	350	350	350	N/A	250	180	-
EFD	Frecuencia de exposición para la exposición dérmica (días/año)	350	350	350	N/A	250	180	-
IRw	Tasa de ingestión de agua (L/día)	1	1	2	2,5	1	N/A	-
IRs	Tasa de ingestión de suelo (mg/día)	200	200	100	387	50	100	-
SA	Área de la superficie de la piel (estacional) (cm ²)	2023	2023	3160	4771	3160	3160	-
M	Factor de adherencia del suelo a la piel	0,5	0,5	0,5	N/A	0,5	0,5	-
ETswim	Tiempo de exposición por inmersión (hr/veces)	1	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A
EVswim	Frecuencia de las inmersiones (veces/año)	12	12	12	N/A	N/A	N/A	N/A
IRswim	Ingestión del agua durante la inmersión (L/hr)	0,5	0,5	0,05	0,3	N/A	N/A	N/A
SAswim	Área de la superficie de la piel durante la inmersión (cm ²)	3500	8100	23000	15680	N/A	N/A	N/A
IRfish	Tasa de ingestión de pescado (kg/año)	0,025	0,025	0,025	0,053	N/A	N/A	N/A
FIfish	Fracción de pescado contaminado (-)	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
IRbg	Ingestión de vegetales subterráneos (kg/día)	0,002	0,002	0,006	2,053	N/A	N/A	N/A
IRabg	Ingestión de vegetales superficiales (kg/día)	0,001	0,001	0,002	0,887	N/A	N/A	N/A
VGbg	Factor de corrección para ingestión de vegetales superficiales	0,01	0,01	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A
VGabg	Factor de corrección para ingestión de vegetales subterráneos	0,01	0,01	0,01	N/A	N/A	N/A	N/A

* = Se usa niño como el receptor para agentes no cancerígenos.

** = La tasa ajustada por edad es un valor efectivo que equivale a los factores de exposición de adultos.

Receptores y rutas de exposición	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
Agua subterránea:			
Ingestión de agua subterránea	Ninguno	Residencial	Ninguno
Lixiviación de suelos a ingesta de agua subterránea	Ninguno	Residencial	Ninguno
Aplicar MCL	No	No	No
Rutas de exposición aplicables a agua superficial:			
Natación	NA	NA	Ninguno
Consumo de pescado	NA	NA	Ninguno
Protección de la vida acuática	NA	NA	Ninguno
Suelo:			
Contacto Directo: Ingestión, Contacto Dérmico, Inhalación	Residencial	NA	NA
Aire exterior:			
Partículas de los suelos superficiales	Comercial	Residencial	Comercial
Volatilización desde los suelos	Comercial	Residencial	Comercial
Volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial
Aire interior:			
Volatilización desde los suelos	Comercial	NA	NA
Volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial
Lixiviación de suelo, volatilización desde agua subterránea	Comercial	Residencial	Comercial

Distancia del foco al receptor	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Receptor de agua subterránea	NA	500	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire exterior	0	80	130	(m)
Receptor por inhalación de aire interior	0	80	130	(m)

Valores aceptables de riesgo para la salud		Individual	Acumulativo
RA	Riesgo aceptable (agentes cancerígenos)	1,0E-5	1,0E-5
CPA	Cociente de peligro aceptable (riesgo no cancerígeno)	1,0E+0	1,0E+0

Opciones para aplicar modelos	
RBCA tier	Tier 2
Modelo de volatilización a aire exterior	Modelos de suelo superficial y subsuelo: Modelo ASTM
Modelo de volatilización a aire interior	Modelo Johnson & Ettinger
Modelo de lixiviación del suelo	Modelo de lixiviación de ASTM
¿Usar el modelo de atenuación del suelo (SAM) para lixiviación?	No
¿Usar el modelo de desorción con equilibrio dual?	No
¿Aplicar el límite por balance de masa para la volatilización del suelo?	No
Opciones de cálculo para vegetales	NA
Factor de dilución del aire	Modelo Gaussiano de Dispersión 3-D
Factor de atenuación por dilución en agua subterránea	Modelo de Domenico con biodeg.

Parámetros para suelo superficial		Valor			(Unidades)
h_{cap}	Espesor de la zona capilar	0,21			(m)
h_v	Espesor de la zona vadosa	11,79			(m)
ρ_s	Densidad seca del suelo	1,7			(g/cm ³)
f_{oc}	Fracción de carbono orgánico	0,0365			(-)
θ_T	Porosidad total del suelo	0,38			(-)
		<u>franja capilar</u>	<u>zona vadosa</u>	<u>solera</u>	
θ_w	Contenido volumétrico de agua	0,342	0,23	0,12	(-)
θ_a	Contenido volumétrico de aire	0,038	0,15	0,26	(-)
K_{vs}	Conductividad hidráulica vertical	0,864			(cm/d)
k_v	Permeabilidad al vapor	1E-15			(m ²)
L_{gw}	Profundidad hasta el agua subt.	12			(m)
pH	pH del suelo/agua subterránea	7,5			(-)
W	Longitud del foco paralela al viento	45			(m)
W_{gw}	Longitud del foco paralela al flujo de agua subt.	215			(m)
L_{ss}	Espesor de suelo superficial afectado	1			(m)
A	Área del foco	46225			(m ²)
L_s	Profundidad hasta el tope de suelo afectado	2			(m)
L_{base}	Profundidad hasta la base de suelo afectado	9,99			(m)
L_{subs}	Espesor de suelo afectado	7,99			(m)

Parámetros de aire exterior		Valor	(Unidades)
U_{air}	Velocidad del aire ambiental en la zona de mezcla	4,3	(m/s)
δ_{air}	Altura de la zona de mezcla	2	(m)
Q/C	Inverso de la concentración promedio en el centro del foco	NA	
P_s	Tasa de emisión de partículas en aire	6,9E-14	(g/cm ² /s)
V	Fracción de cubierta vegetal	NA	
U_m	Velocidad anual promedio a 7m	NA	
U_t	Valor umbral de velocidad del aire equivalente a 7m	NA	
F(x)	Función de la velocidad del viento según U_m/U_t	NA	
PEF	Factor de emisión de partículas	3,61047E-12	

Parámetros para edificios		Residencial	Comercial	(Unidades)
L_b	Proporción volumétrica del edificio	2	3	(m)
A_b	Área de la solera	70	70	(m ²)
X_{crk}	Perímetro de la solera	49	34	(m)
ER	Tasa de intercambio del aire en el edificio	0,00014	0,00023	(1/s)
L_{crk}	Espesor de la solera	0,15	0,15	(m)
Z_{crk}	Profundidad hasta el fondo de la solera	0,15	0,15	(m)
η	Fracción agrietada de la solera	0,001	0,001	(-)
dP	Presión diferencial interna/externa	0	0	(g/cm/s ²)
Q_s	Flujo de aire convectivo que atraviesa la placa	0	0	(m ³ /s)
θ_{wcrack}	Contenido de agua en las grietas	0,12	0,12	(-)
θ_{acrack}	Contenido de aire en las grietas	0,26	0,26	(-)
BV	Volumen del edificio	NA	NA	(m ³)
w	Ancho del edificio perpendicular al flujo de agua subt.	NA	NA	(m)
L	Largo del edificio paralelo al flujo de agua subt.	NA	NA	(m)
v	Porosidad del suelo en la zona saturada	NA	NA	(-)

Parámetros para aguas subterráneas		Valor	(Unidades)
δ_{gw}	Profundidad de la zona de mezcla de agua subt.	2	(m)
l	Tasa neta de infiltración de agua subt.	4,572288	(cm/año)
U_{gw}	Velocidad Darcy de agua subt.	0,286848	(cm/d)
V_{gw}	Velocidad de filtración de las aguas subt.	1,509726316	(cm/d)
K_s	Conductividad hidráulica saturada	86,4	(cm/d)
i	Gradiente del agua subt.	0,00124	(-)
S_w	Ancho del foco en agua subt.	45	(m)
S_D	Profundidad del foco en agua subt.	2	(m)
θ_{eff}	Porosidad efectiva en el acuífero	0,19	(-)
f_{OC-sat}	Fracción de carbono orgánico en el acuífero	0,003	(-)
pH_{sat}	pH del agua subterránea	7,5	(-)
	¿Se consideró biodegradación?	1er Orden	

Parámetros de Transporte		Fuera del sitio 1Fuera del sitio 2Fuera del sitio 1Fuera del sitio 2 (Unidades)			
Transporte lateral en agua subterránea		Ingestión de agua subterránea		Agua subt. a aire interior	
α_x	Dispersividad longitudinal	9,1E+0	NA	3,9E+0	5,1E+0
α_y	Dispersividad transversal	9,1E-1	NA	3,9E-1	5,1E-1
α_z	Dispersividad vertical	9,1E-2	NA	3,9E-2	5,1E-2
Transporte lateral en aire exterior		Suelo - inhal. de aire exterior		Agua subt. - inhal. de aire exterior	
σ_y	Coefficiente de dispersión transversal	8,5E+0	1,3E+1	8,5E+0	1,3E+1
σ_z	Coefficiente de dispersión vertical	5,7E+0	8,9E+0	5,7E+0	8,9E+0
ADF	Factor de dispersión del aire	1,0E+0	1,0E+0	1,9E+0	4,4E+0

Parámetros de Agua Superficial		Fuera del sitio 2	(Unidades)
Q_{sw}	Caudal de agua superficial	NA	(m ³ /s)
W_{pl}	Ancho de la pluma en la descarga de agua sup.	NA	(m)
δ_{pl}	Espesor de la pluma en la descarga de agua sup.	NA	(m)
DF_{sw}	Factor de dilución agua subt./agua sup.	NA	(-)

Nota: NA = No aplica

Anaranjado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

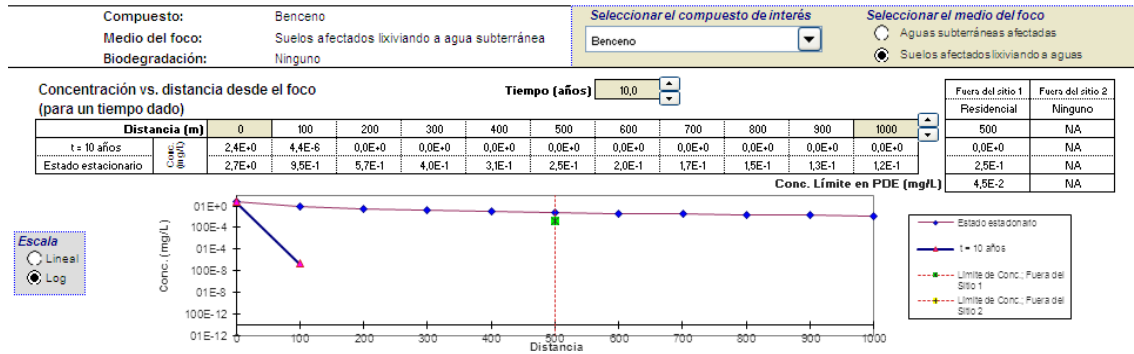
ANEXO 5: Análisis transitorio de Domenico

(CASO A)

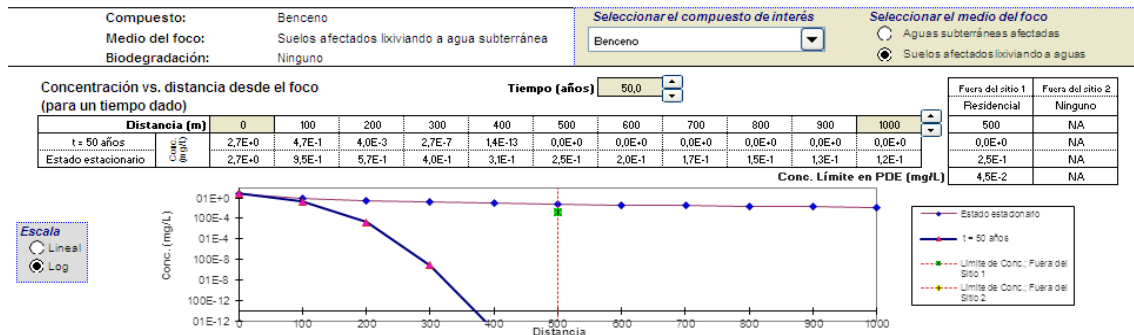
BENCENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

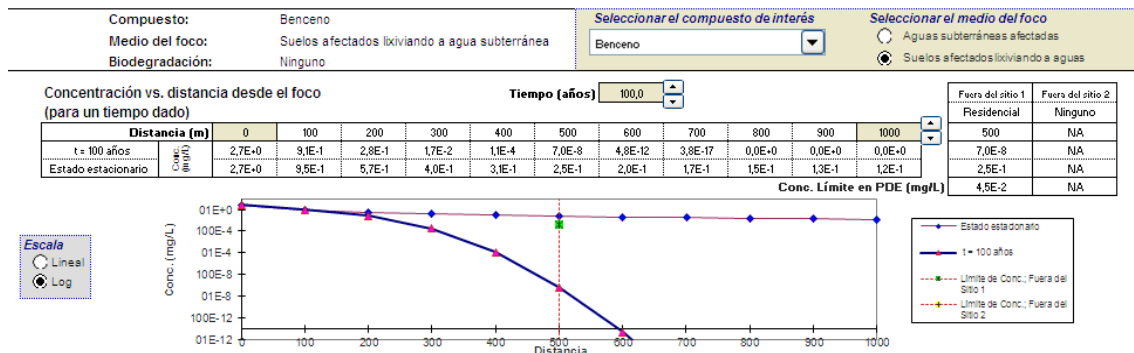
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



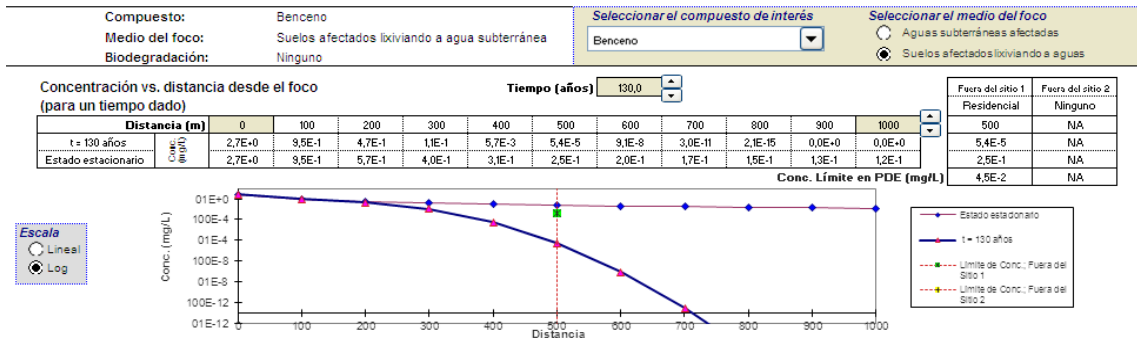
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



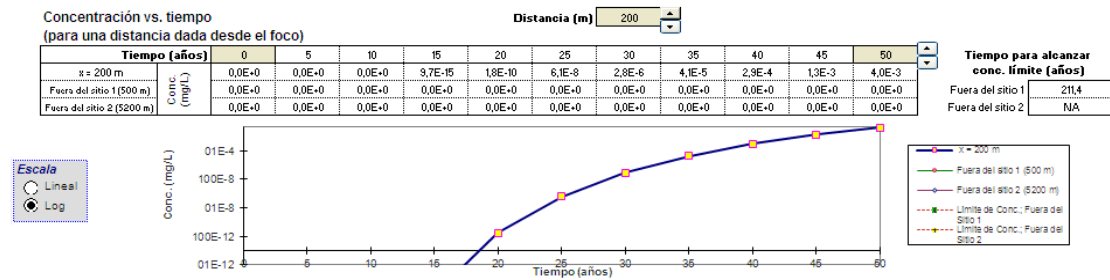
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

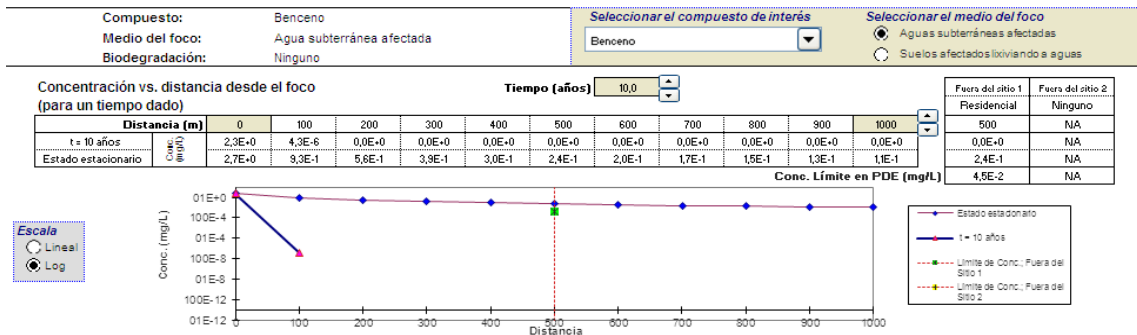


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

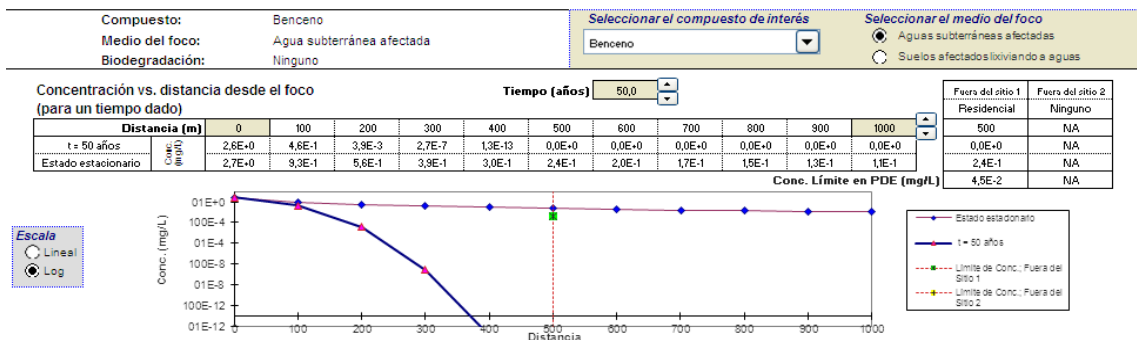


2. Aguas subterráneas afectadas.

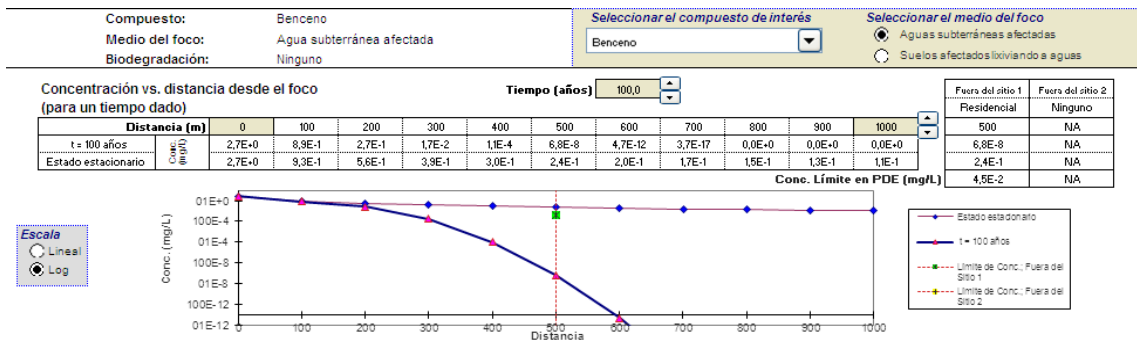
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



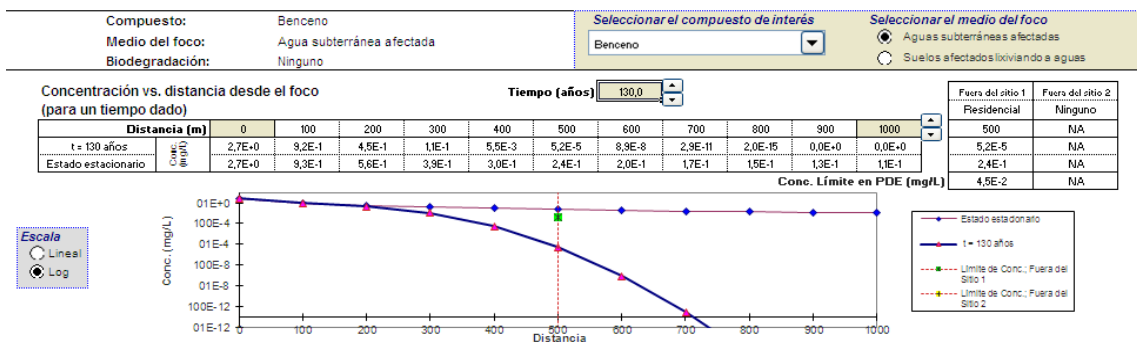
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



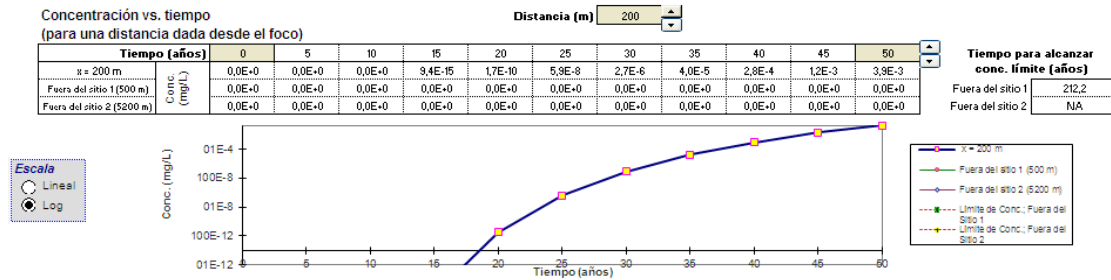
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



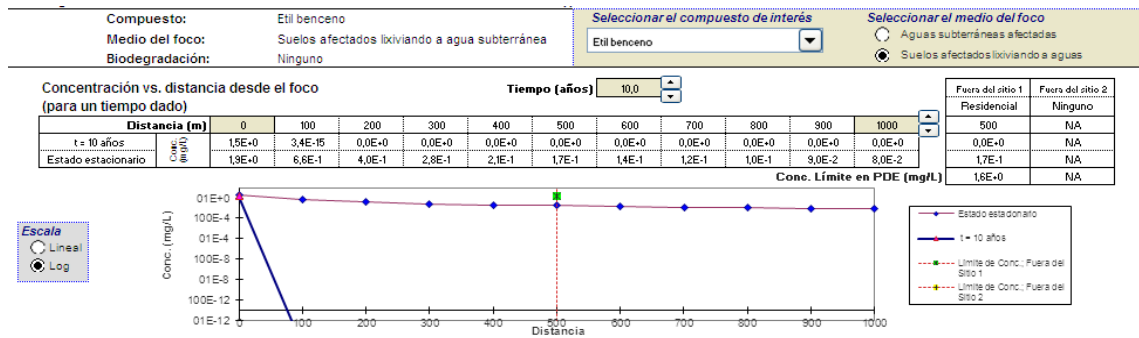
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



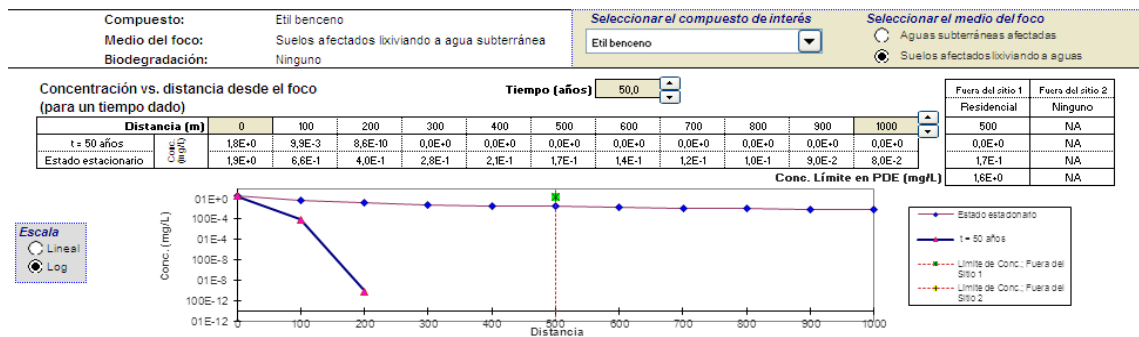
ETIL BENCENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

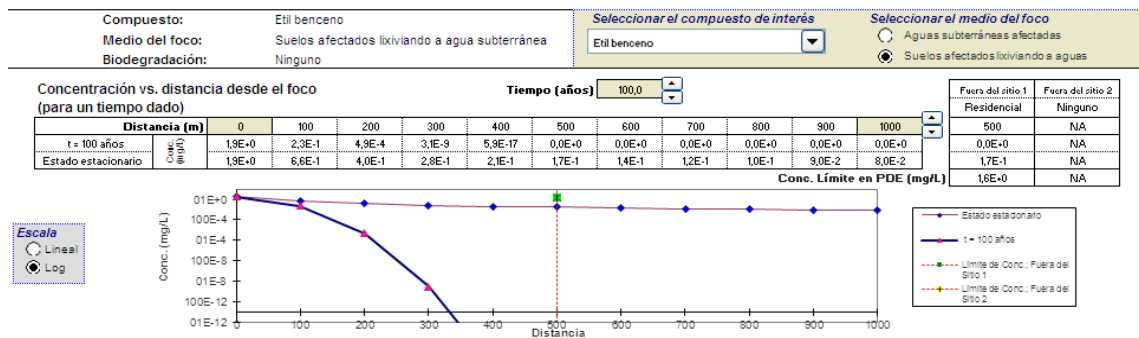
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



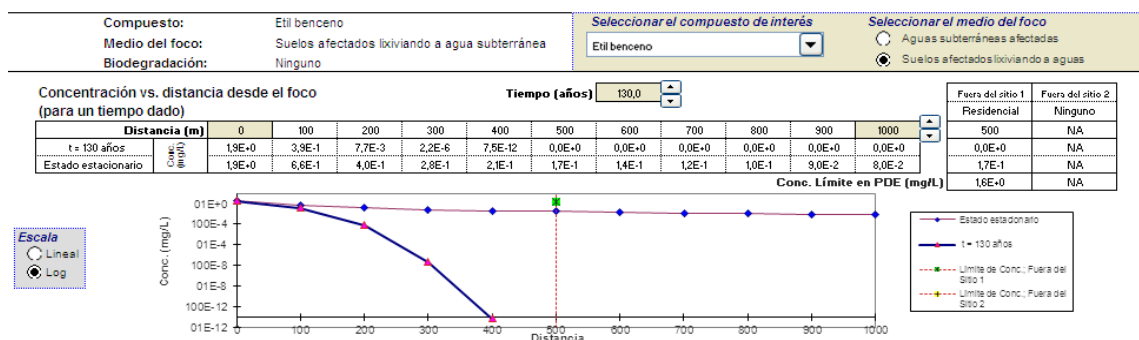
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



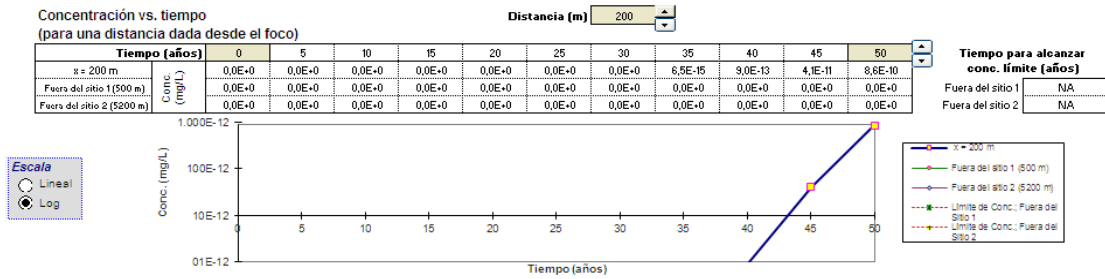
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

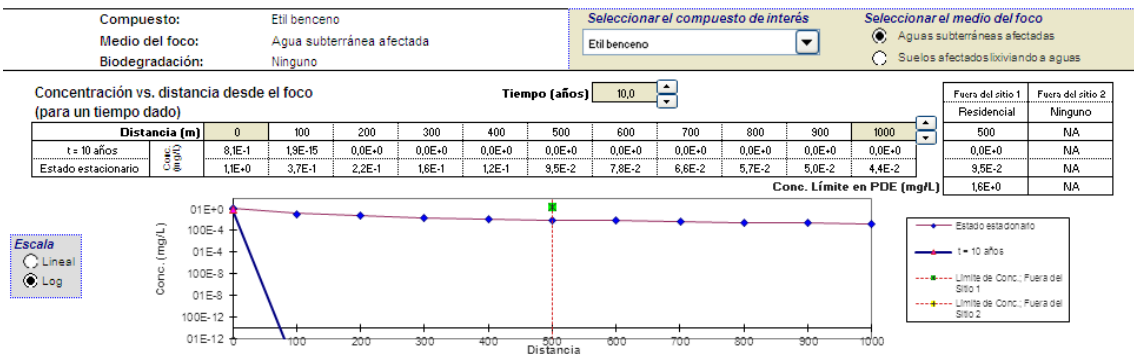


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

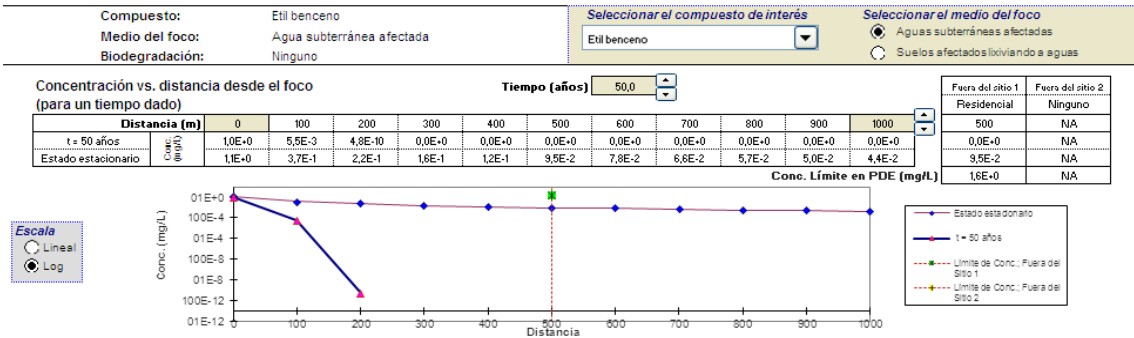


2. Aguas subterráneas afectadas.

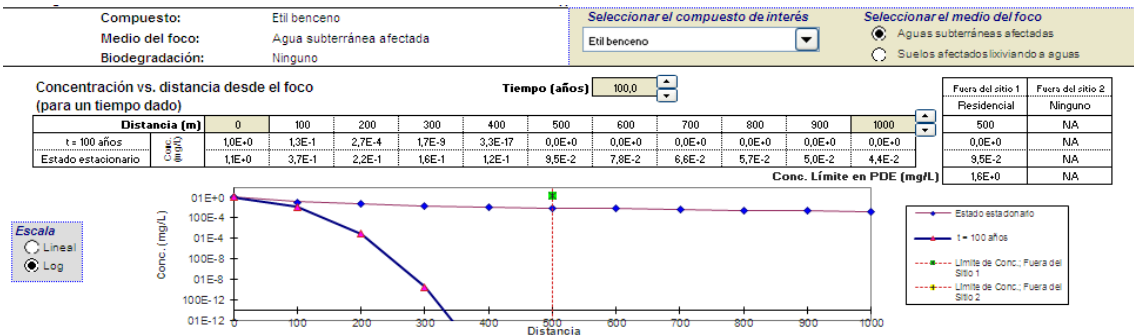
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



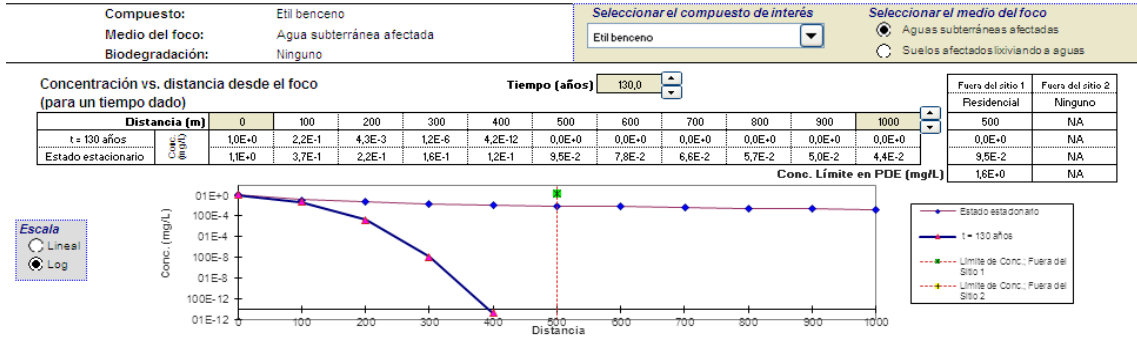
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



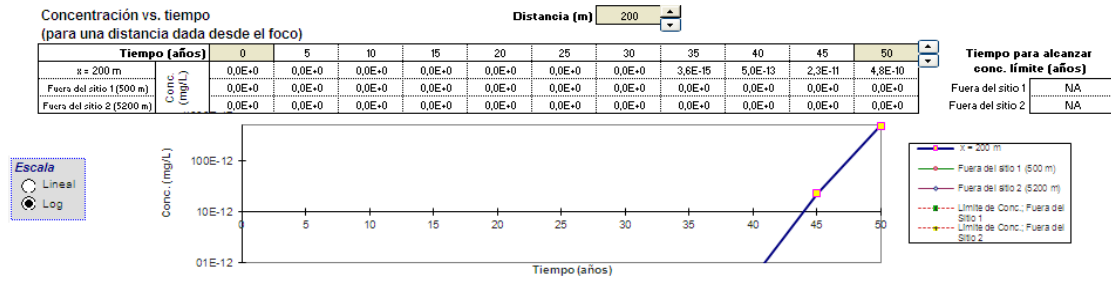
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



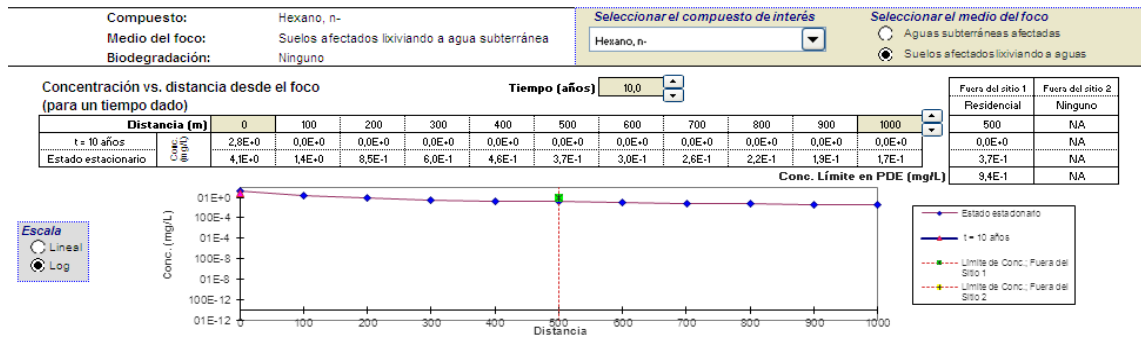
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



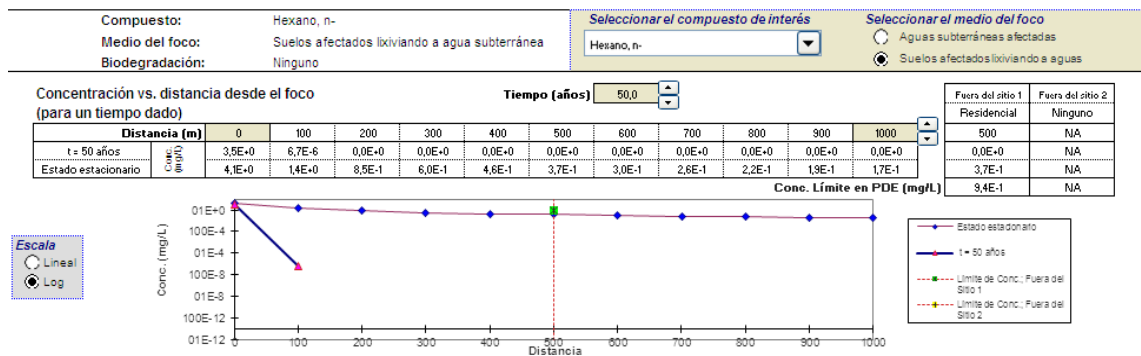
HEXANO, N-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

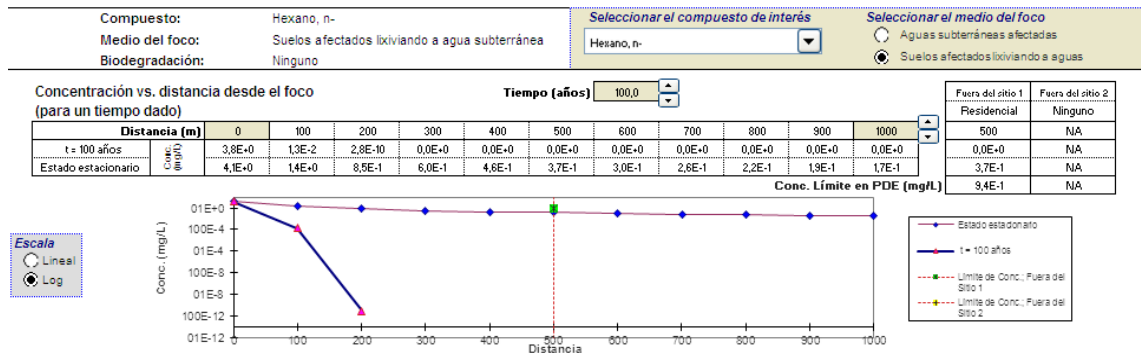
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



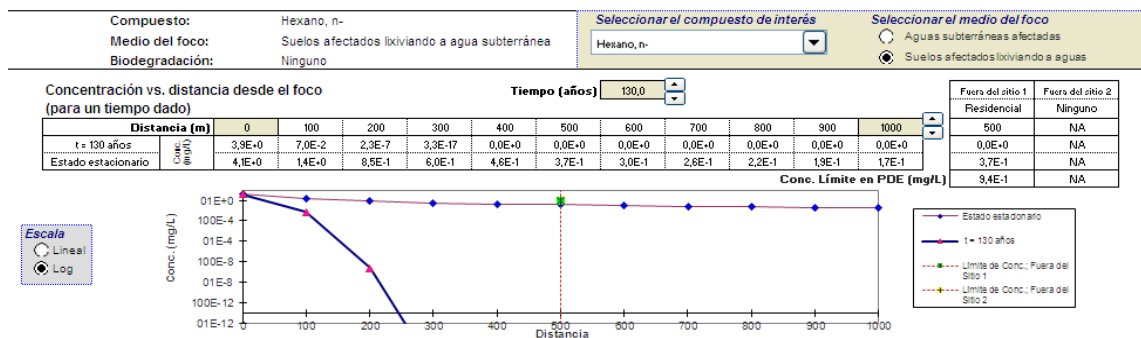
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



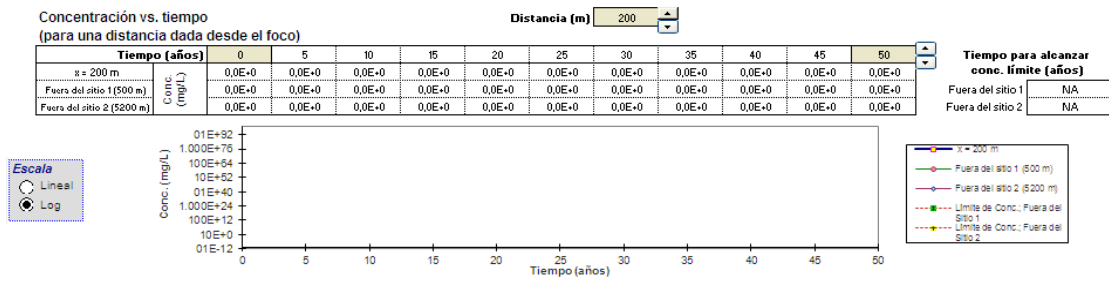
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

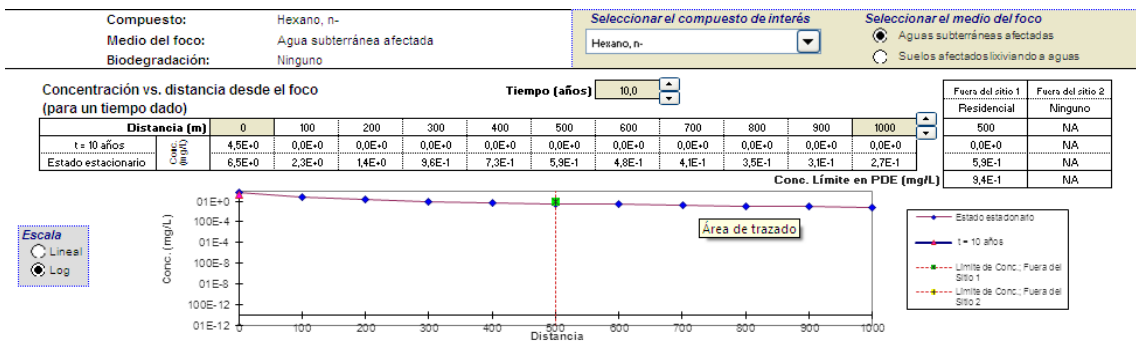


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

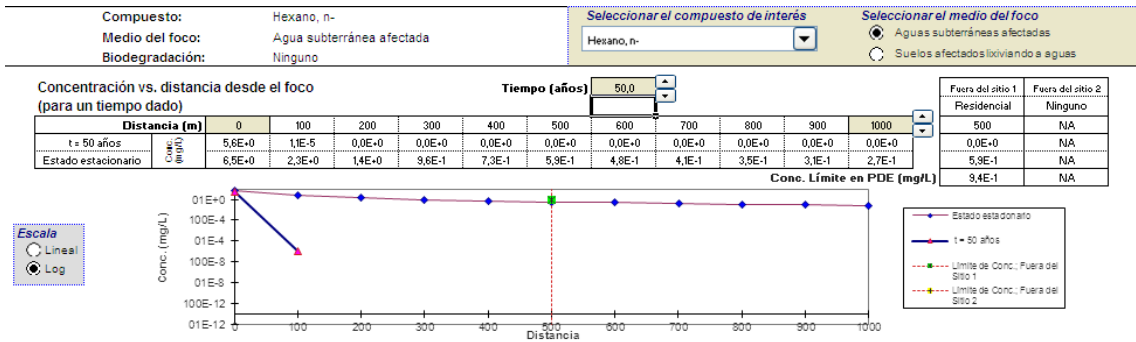


2. Aguas subterráneas afectadas.

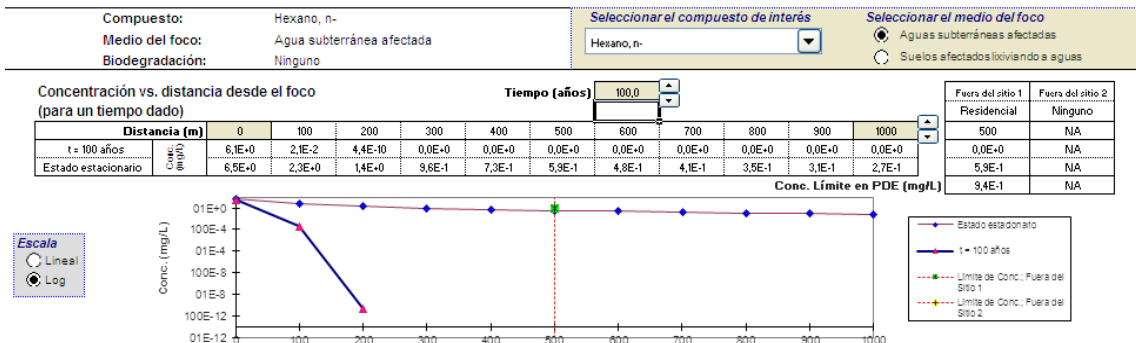
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



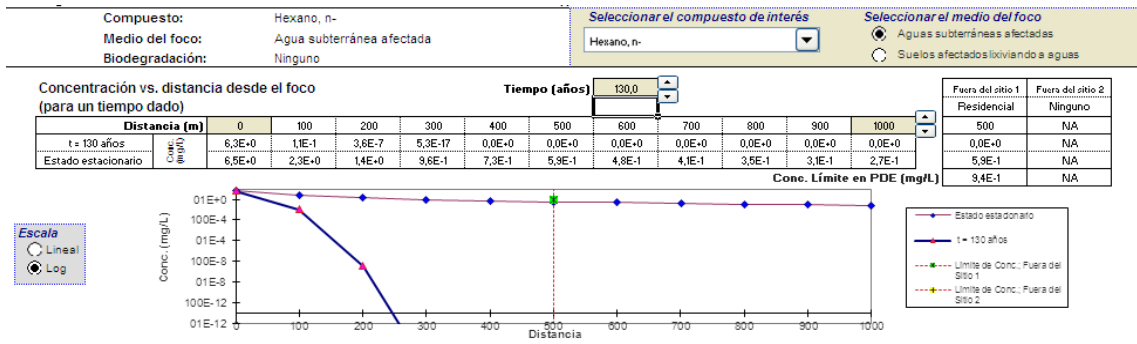
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



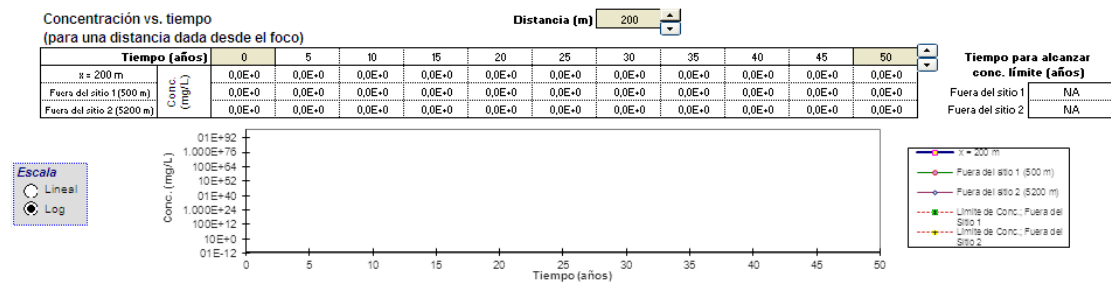
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



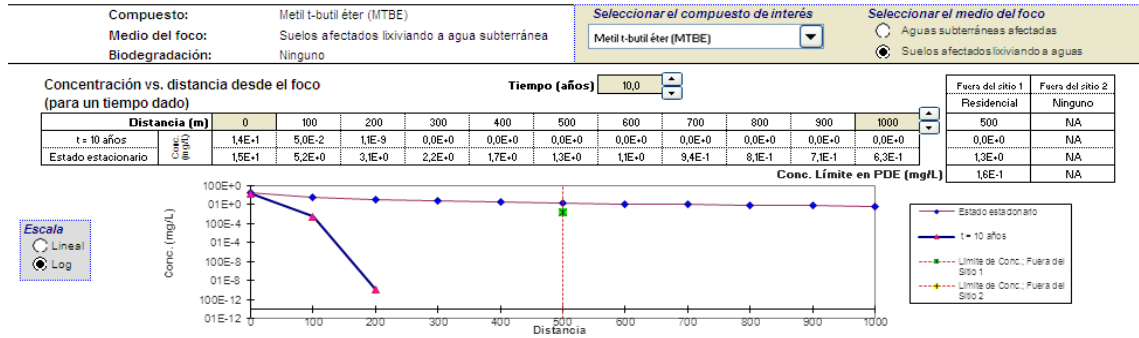
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



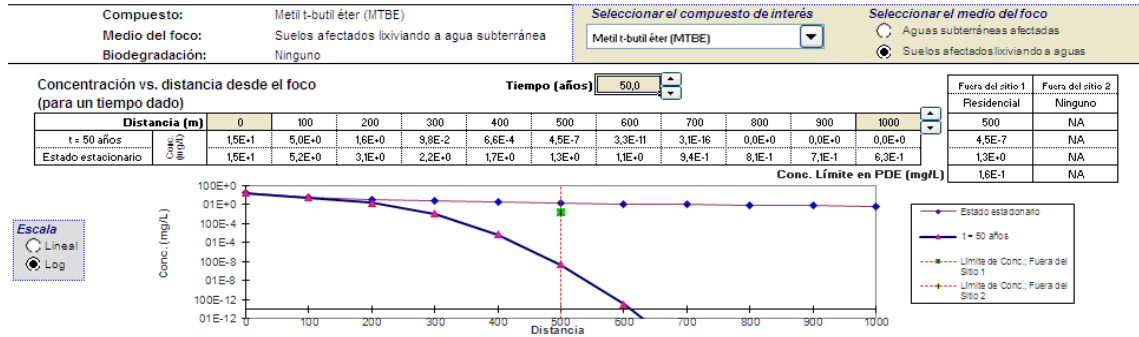
METIL T-BUTIL ÉTER (MTBE)

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

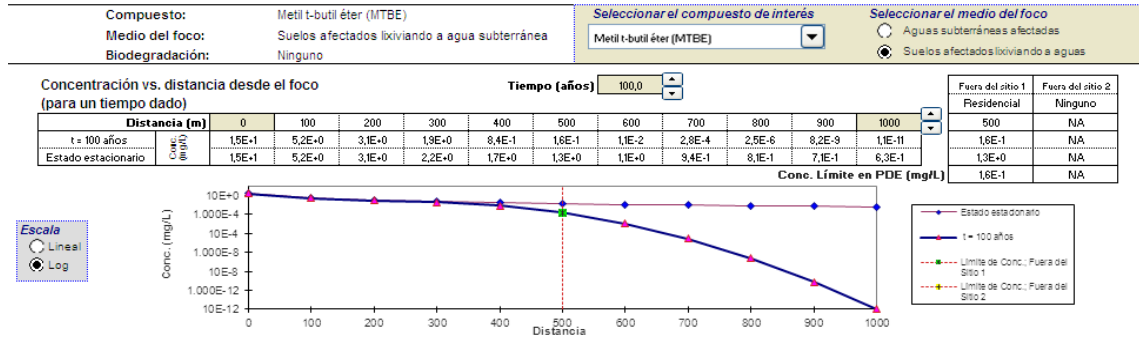
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



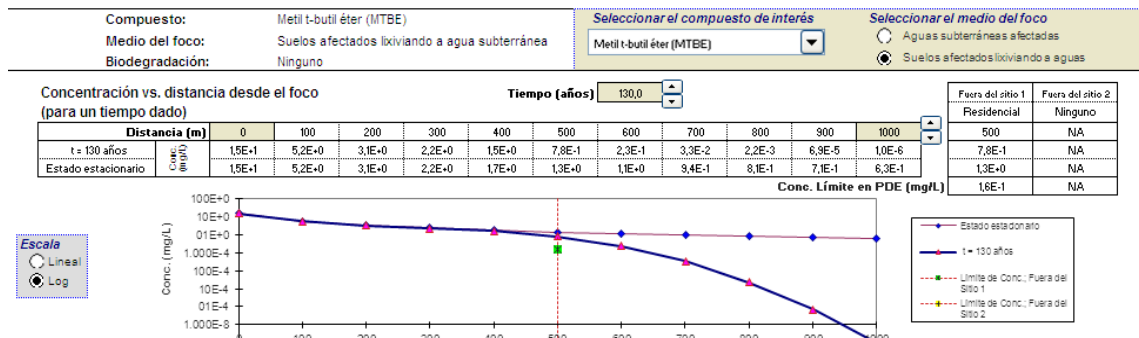
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



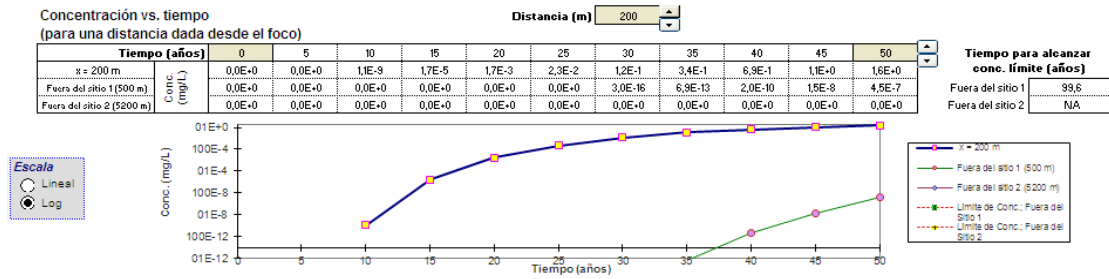
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

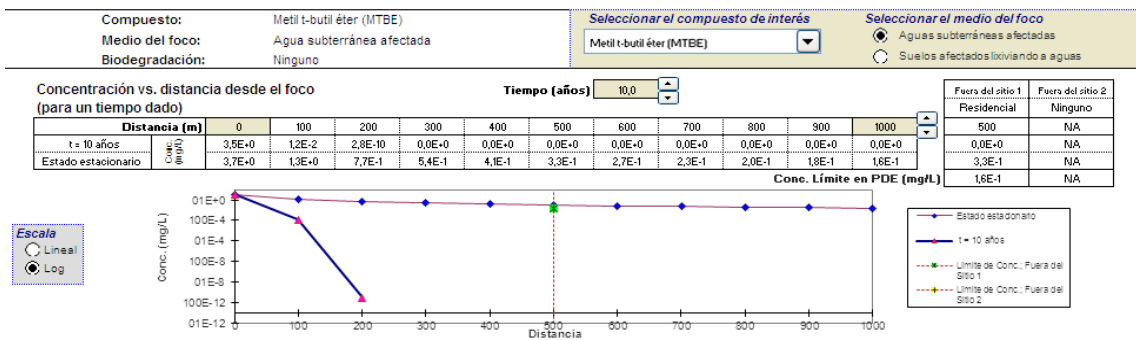


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

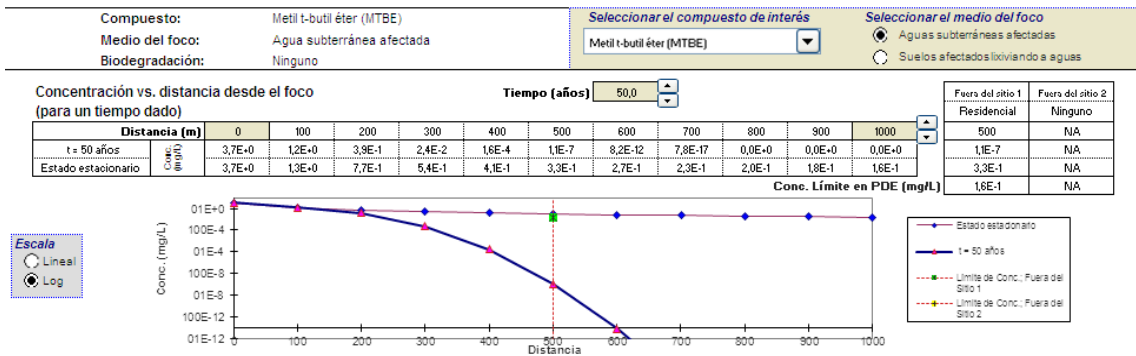


2. Aguas subterráneas afectadas.

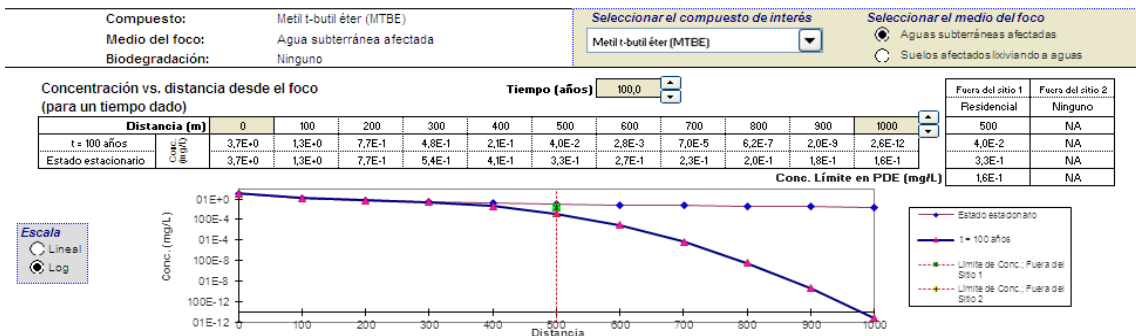
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



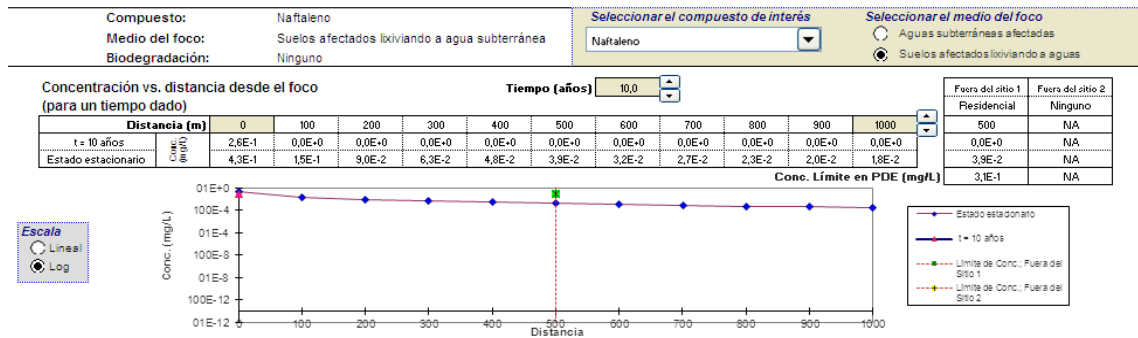
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



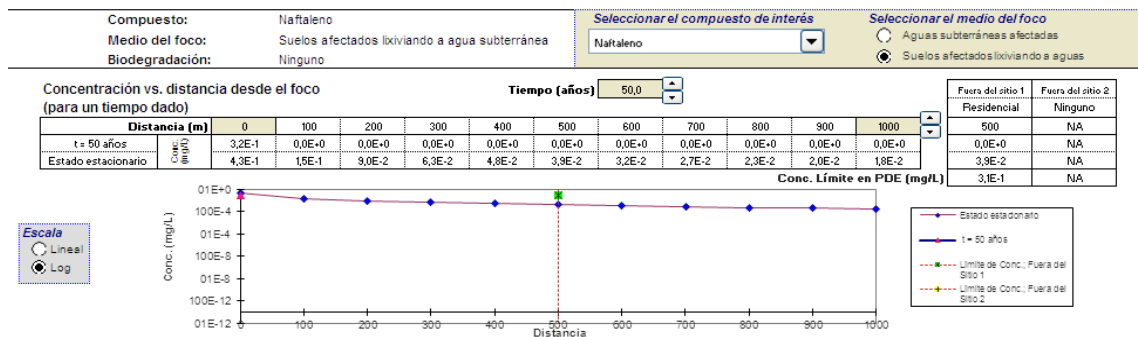
NAFTALENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

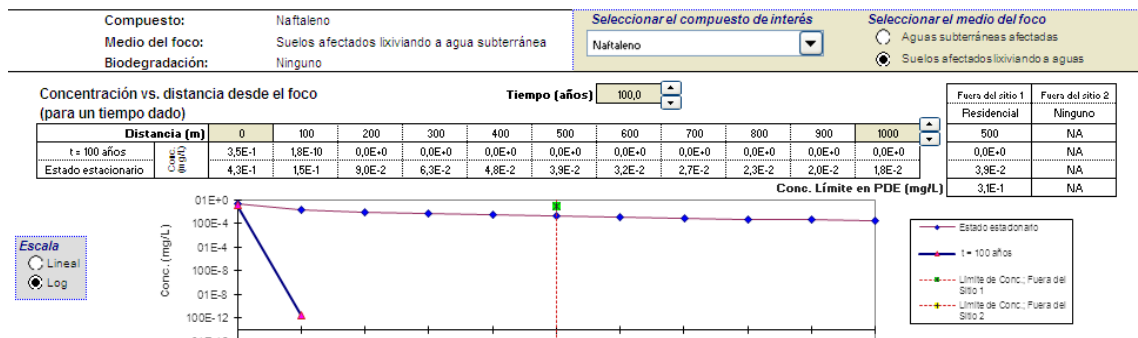
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



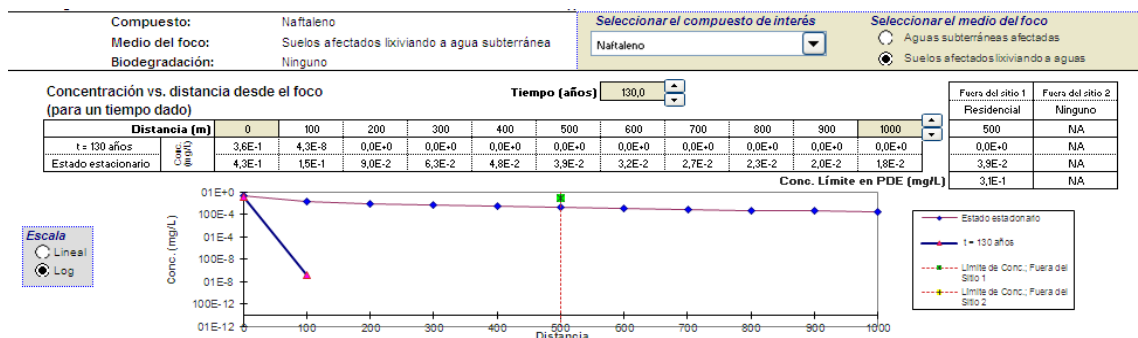
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



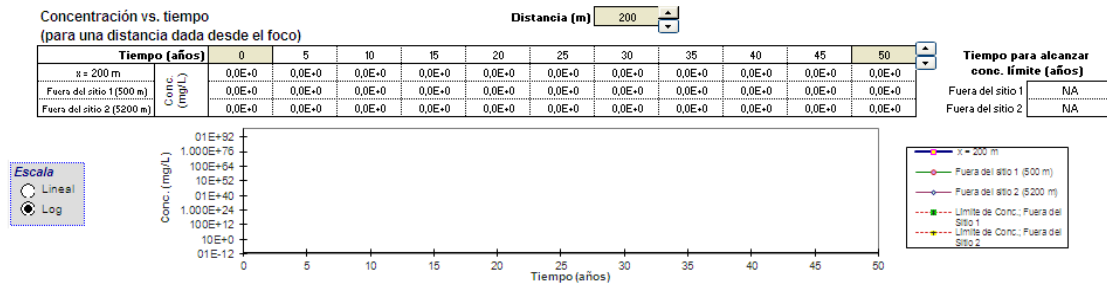
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

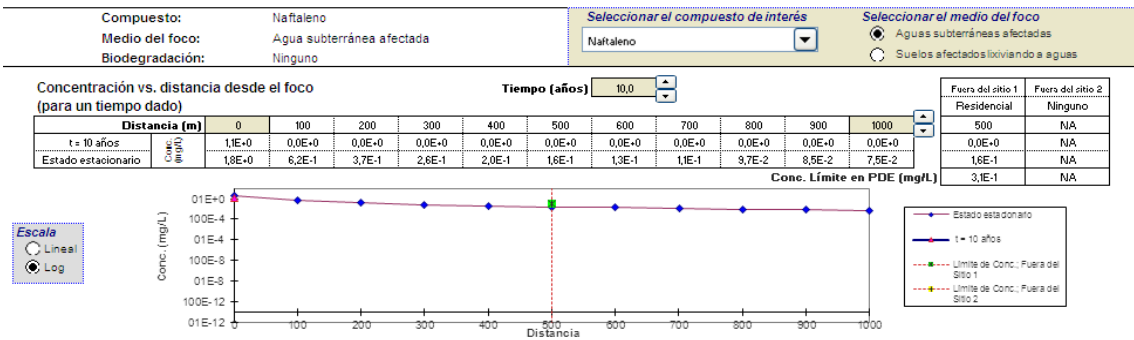


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

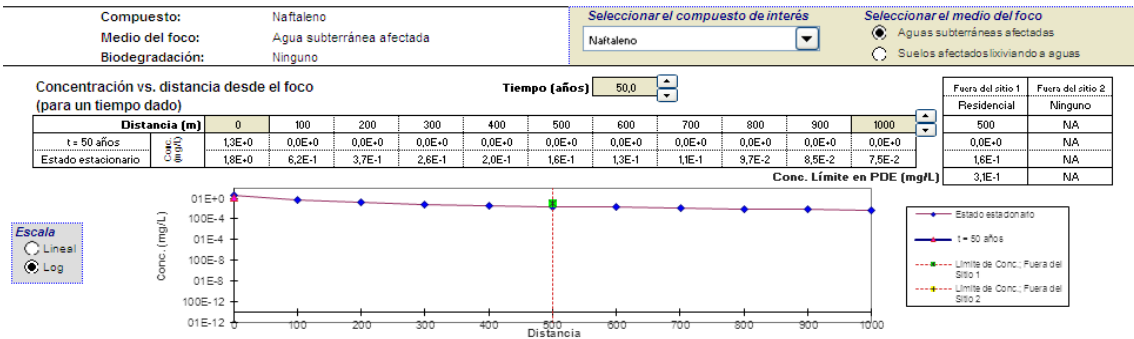


2. Aguas subterráneas afectadas.

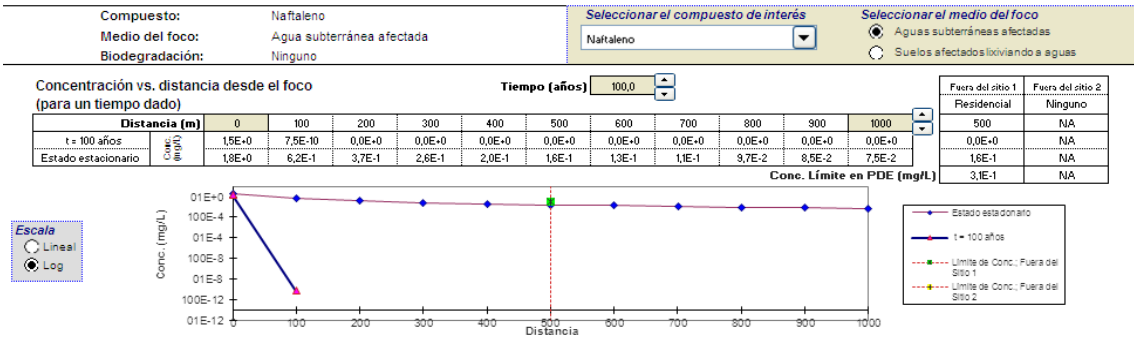
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



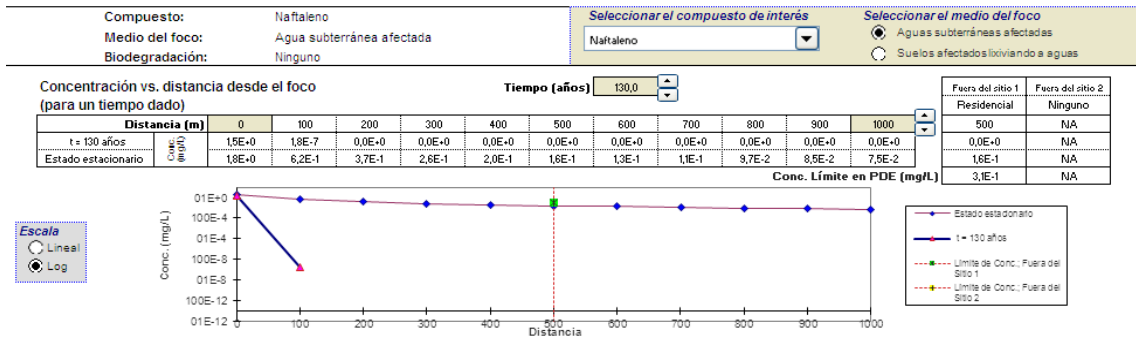
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



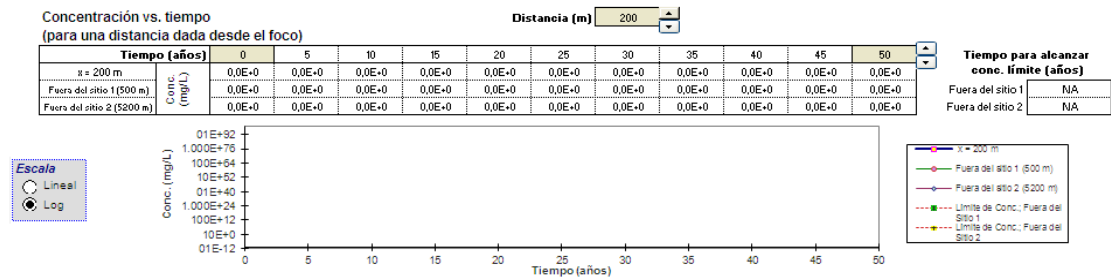
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



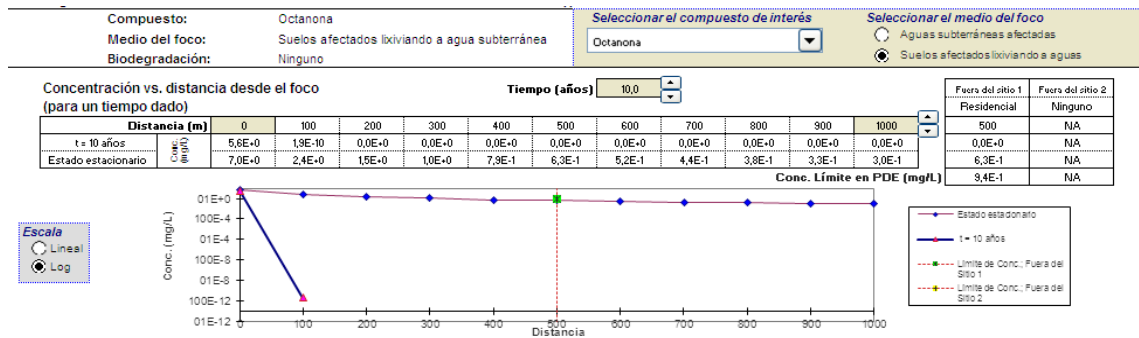
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



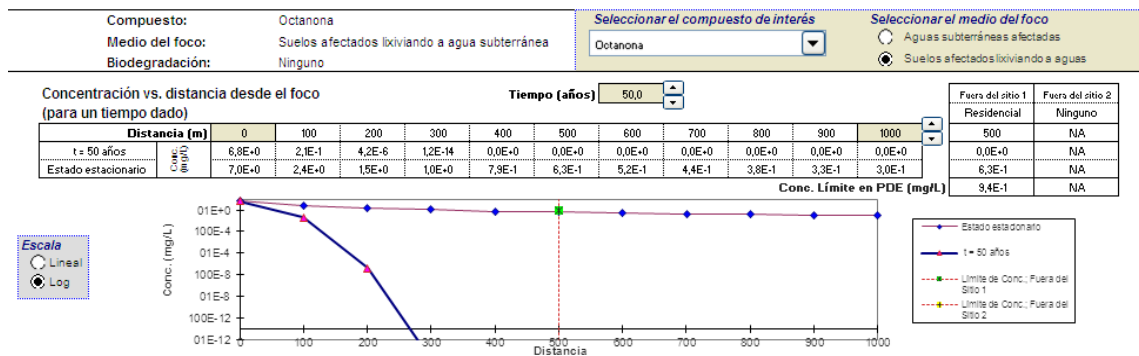
OCTANONA

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

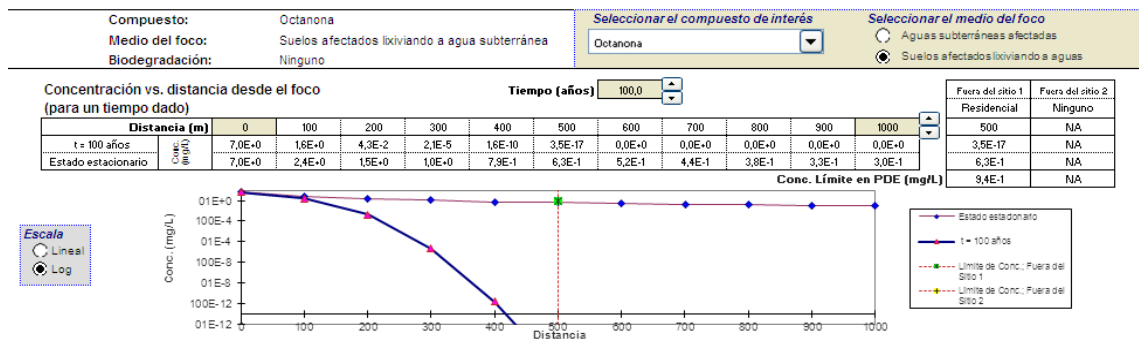
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



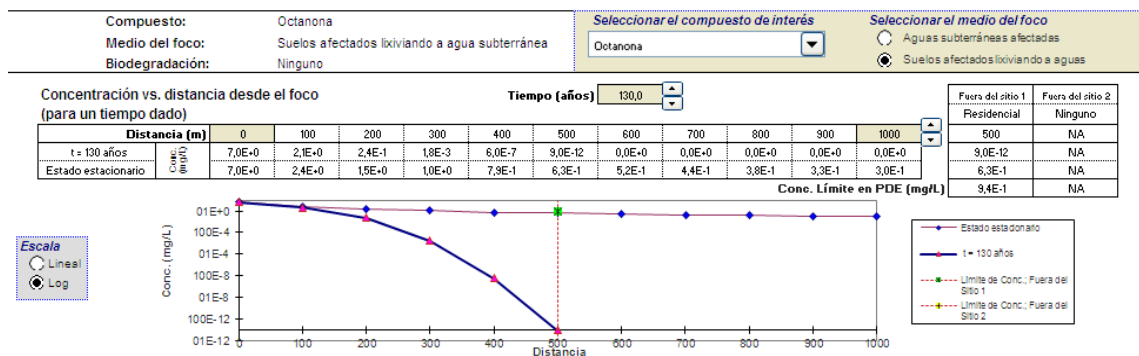
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



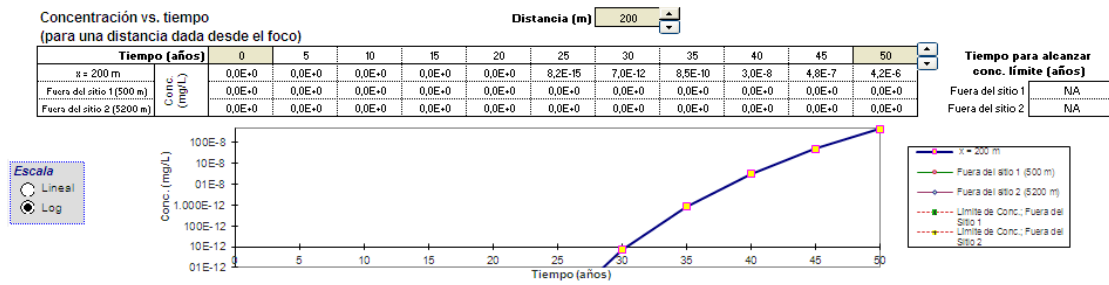
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

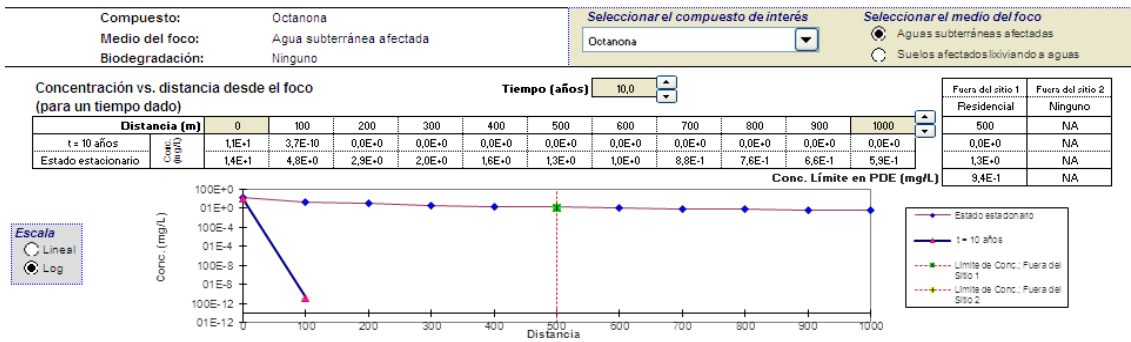


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

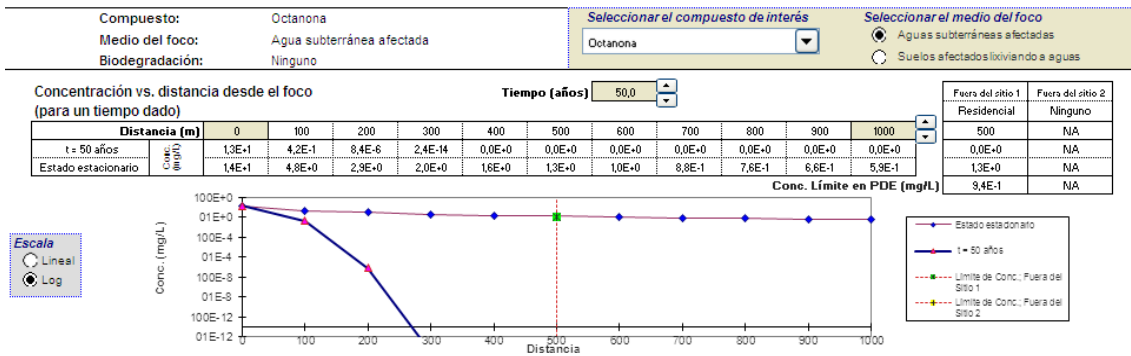


2. Aguas subterráneas afectadas.

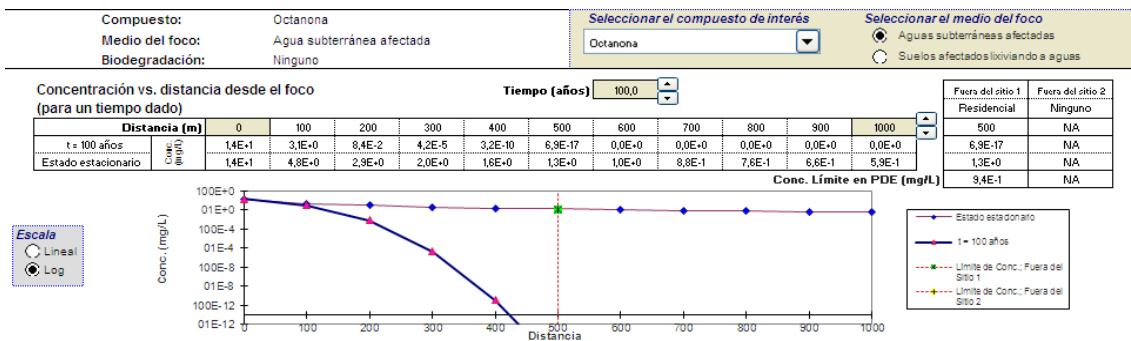
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



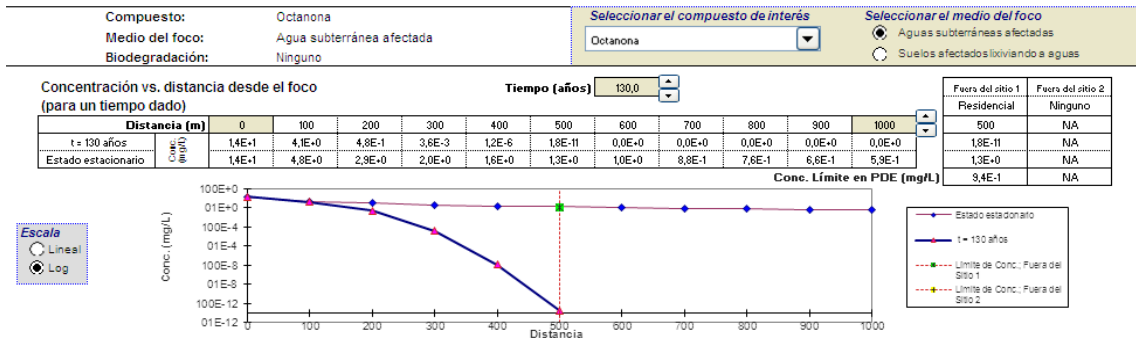
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



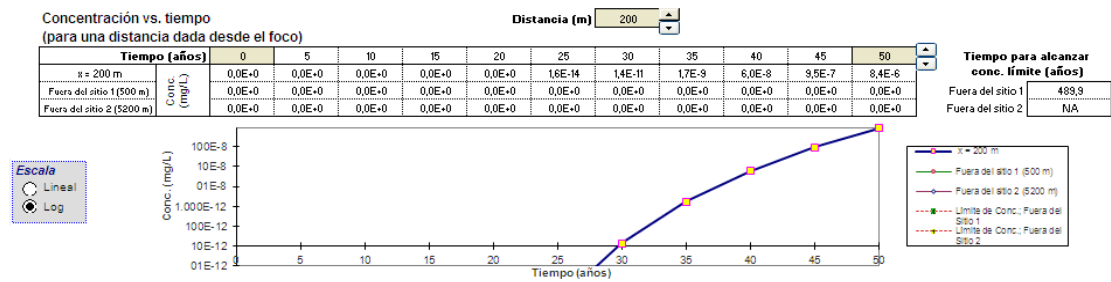
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



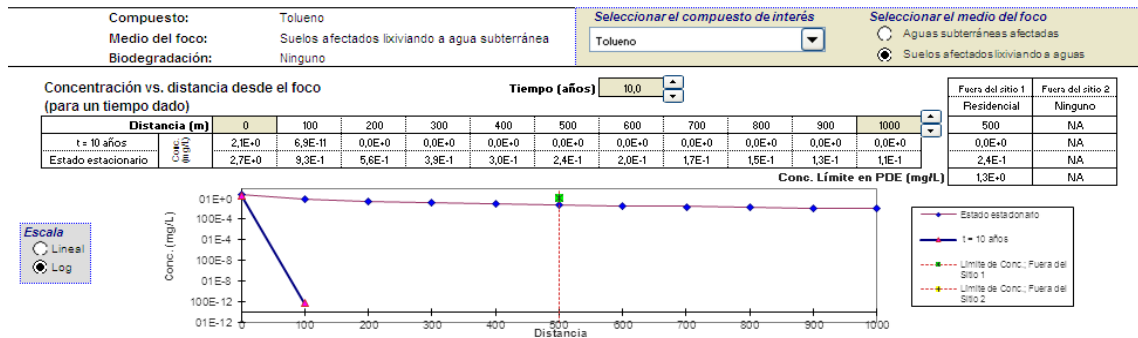
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



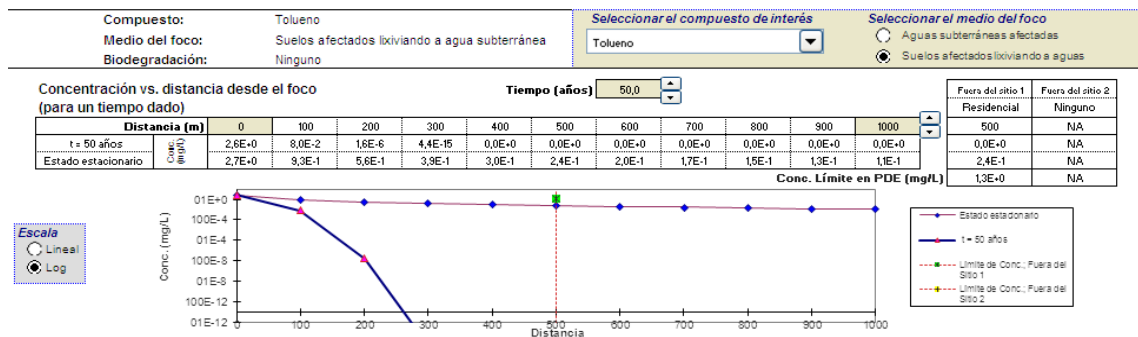
TOLUENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

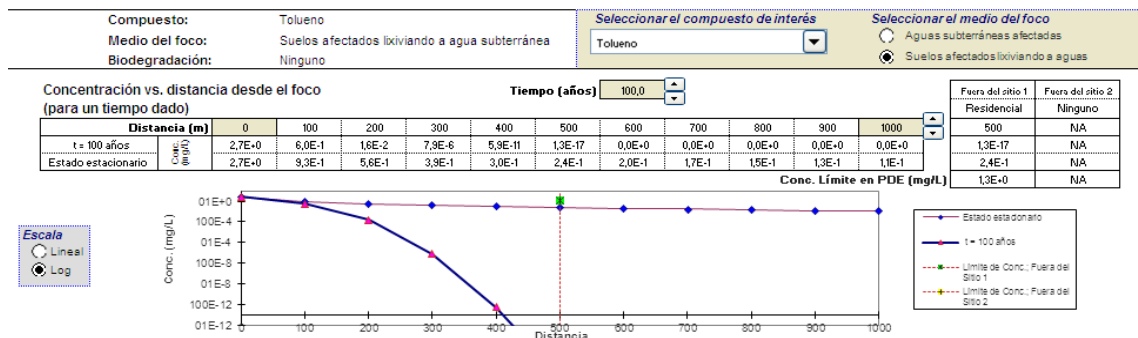
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



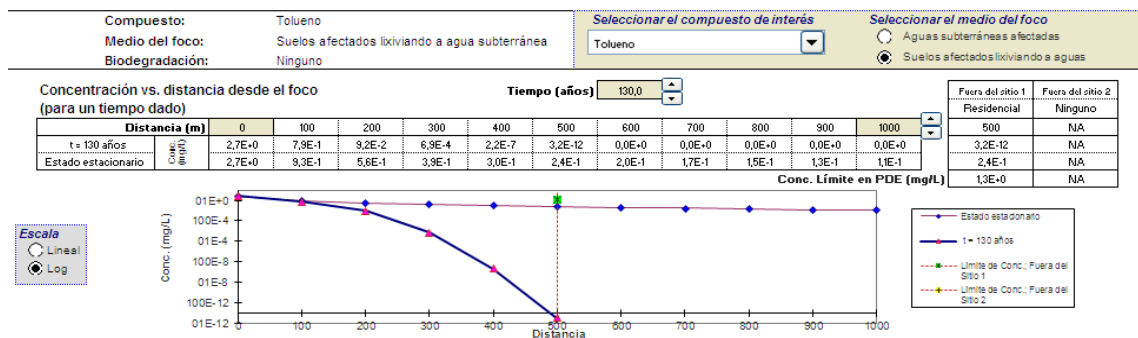
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



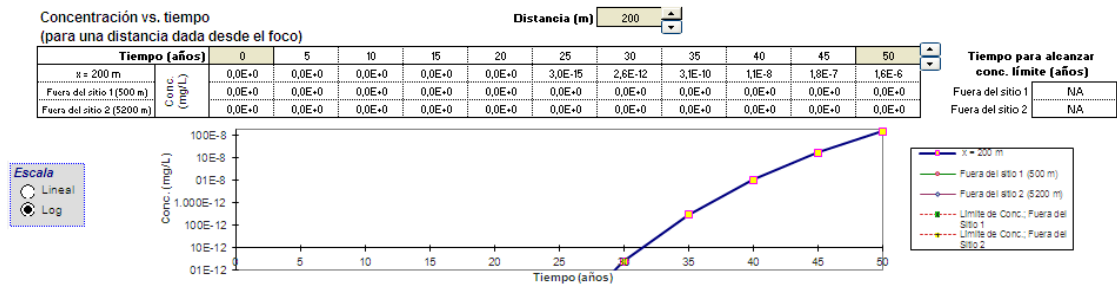
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

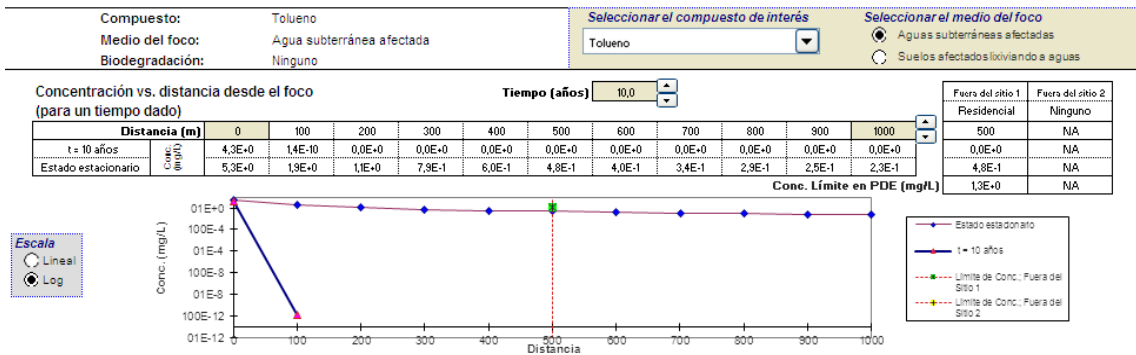


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

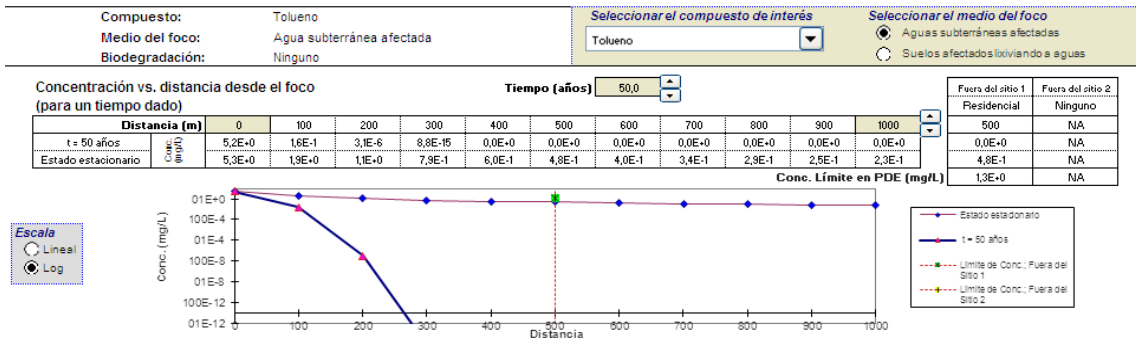


2. Aguas subterráneas afectadas.

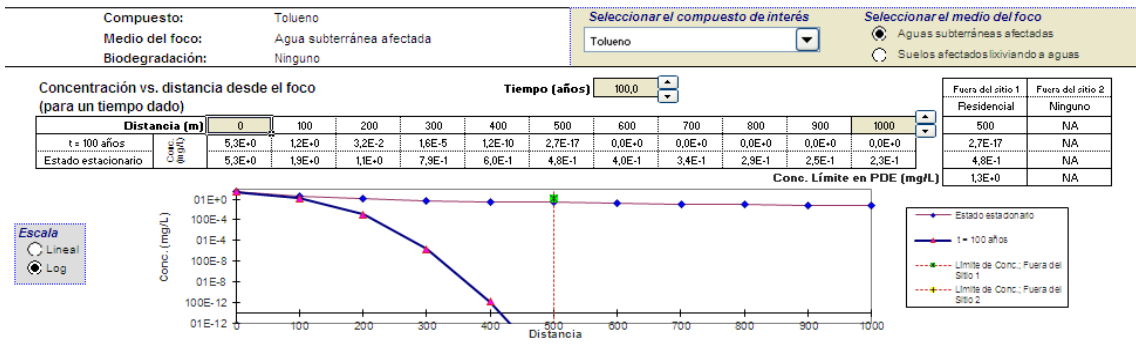
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



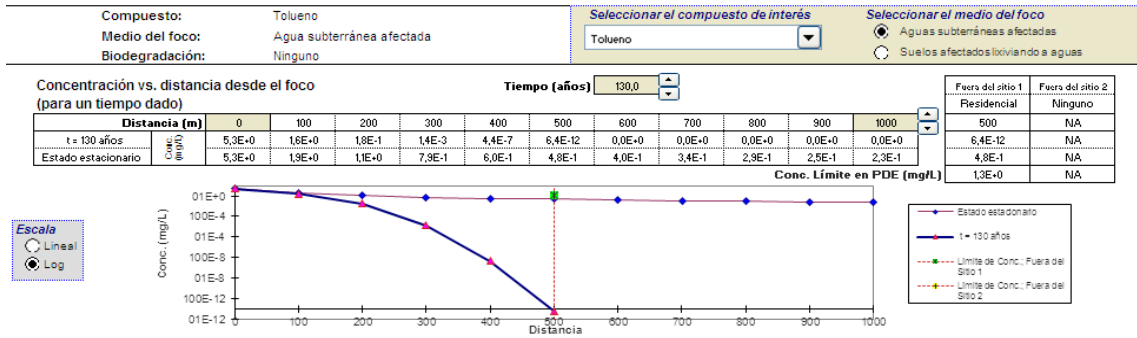
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



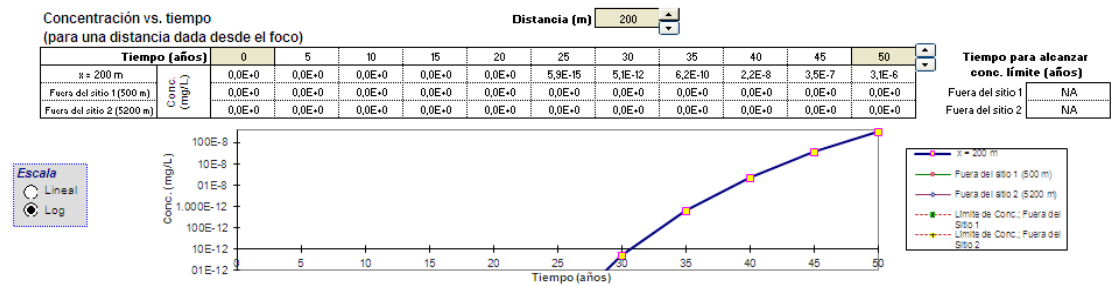
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



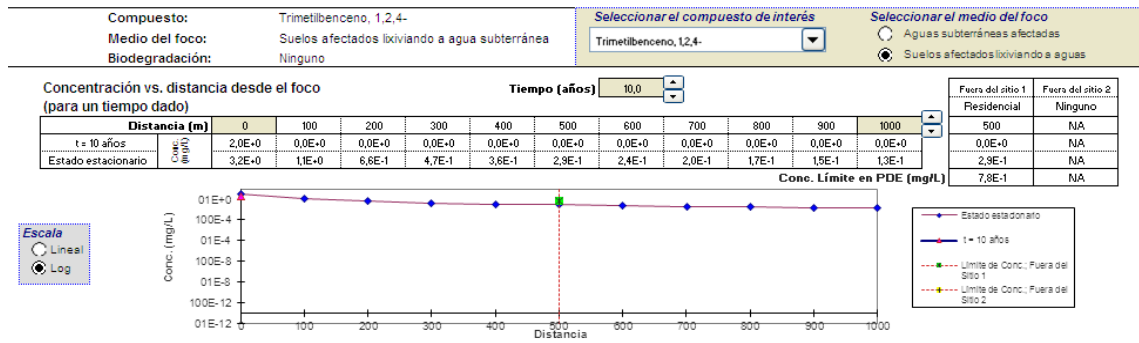
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



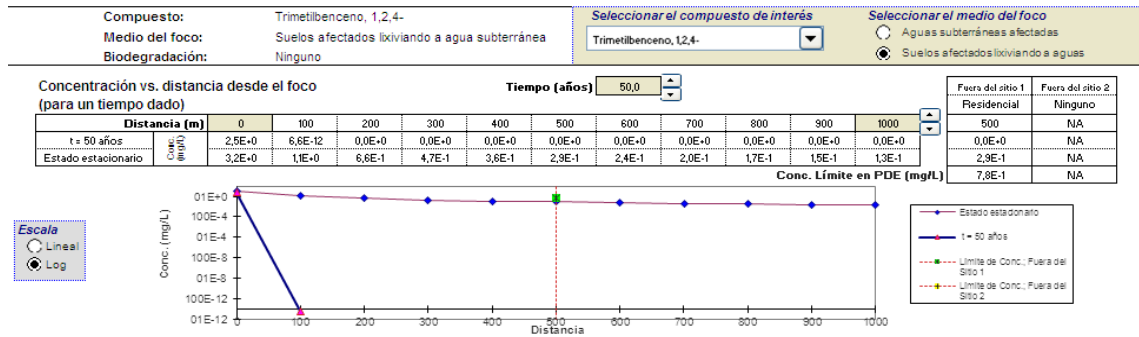
TRIMETILBENCENO, 1, 2, 4-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

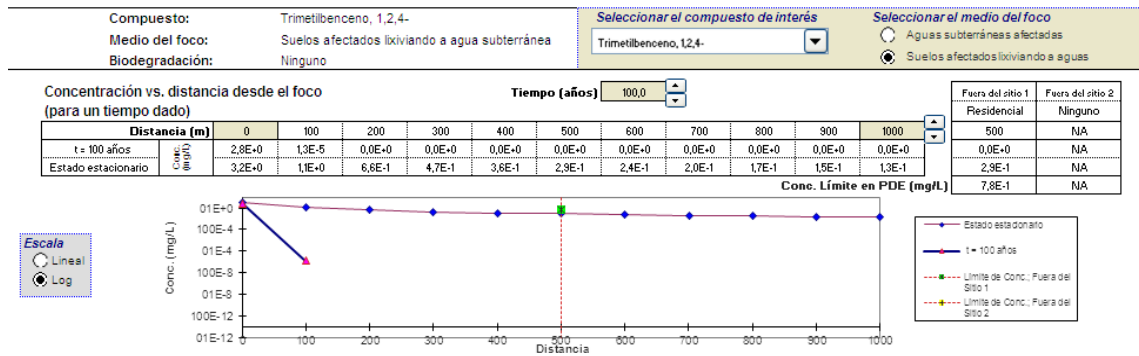
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



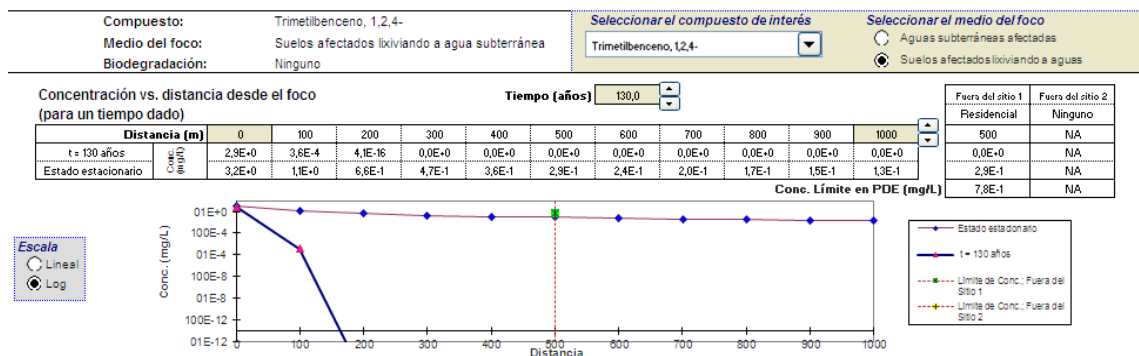
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



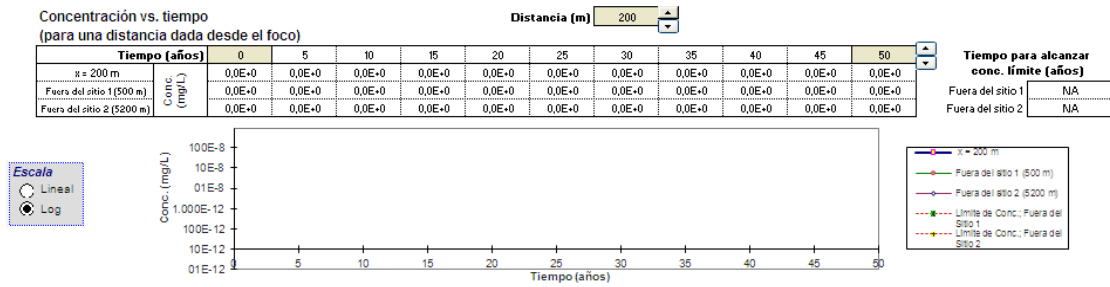
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

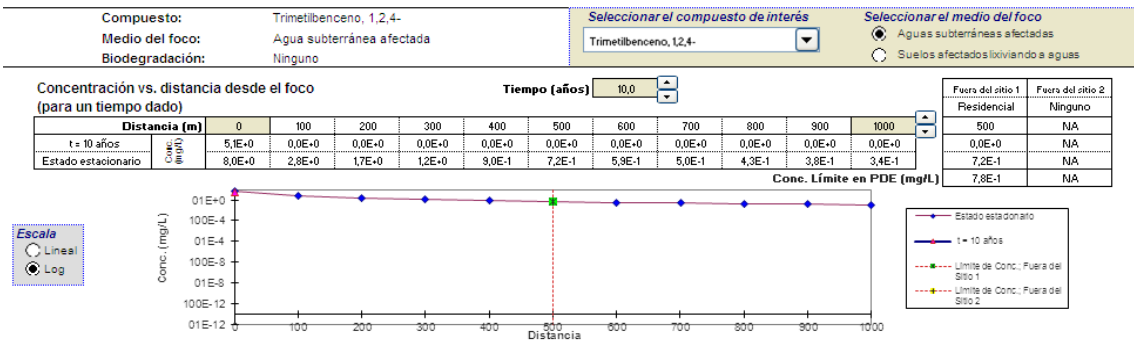


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

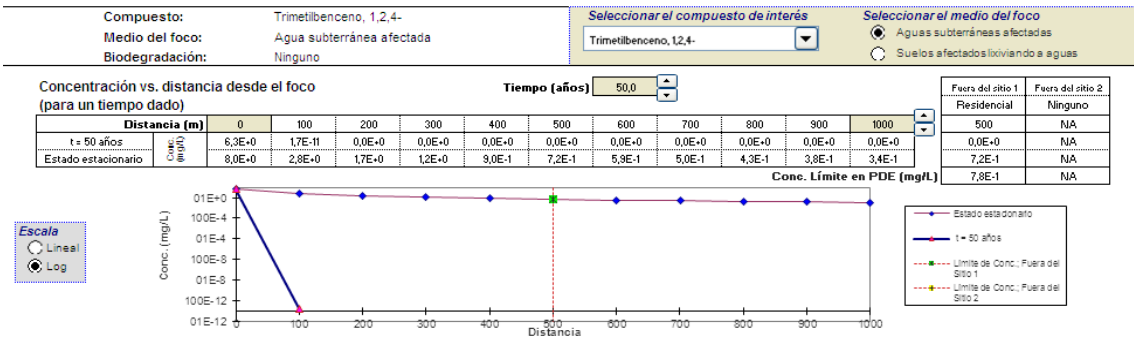


2. Aguas subterráneas afectadas.

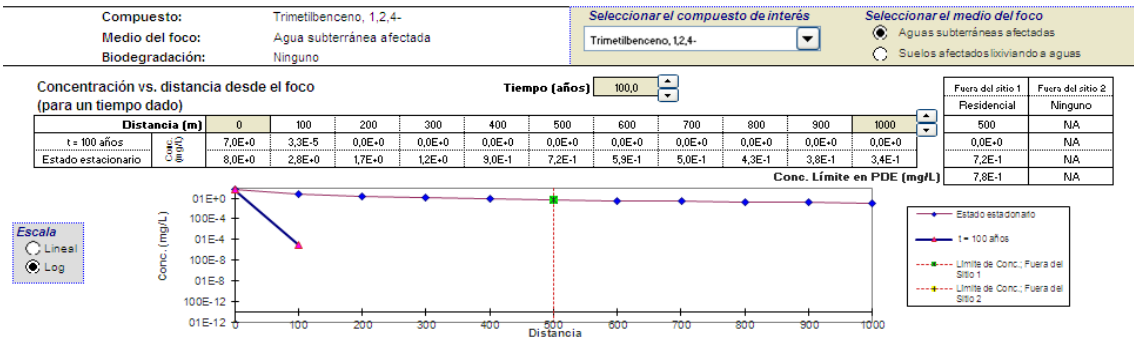
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



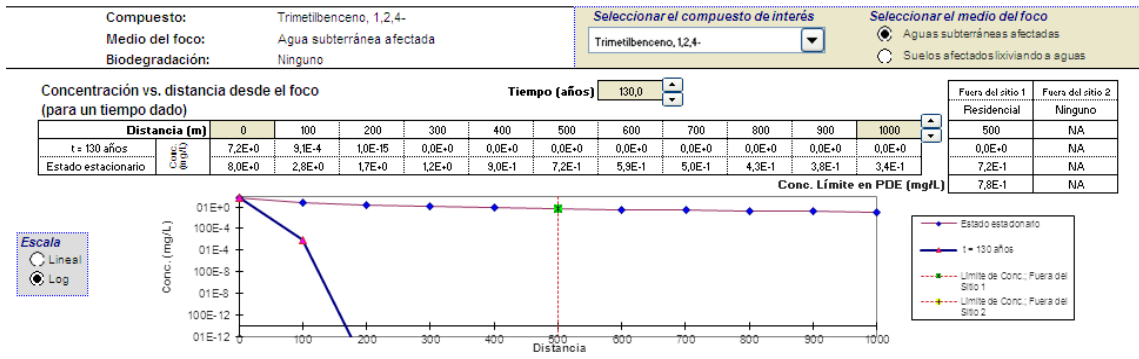
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



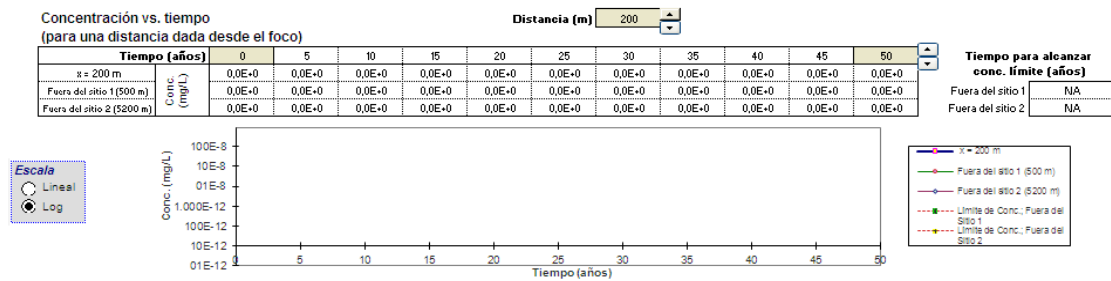
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



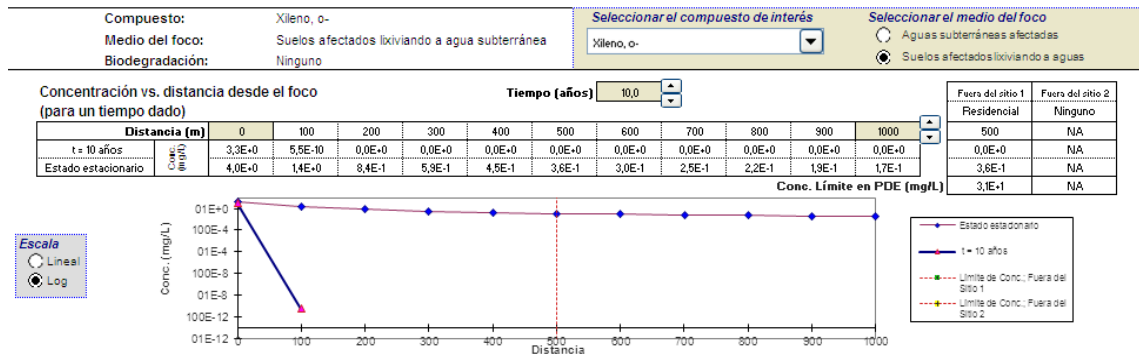
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



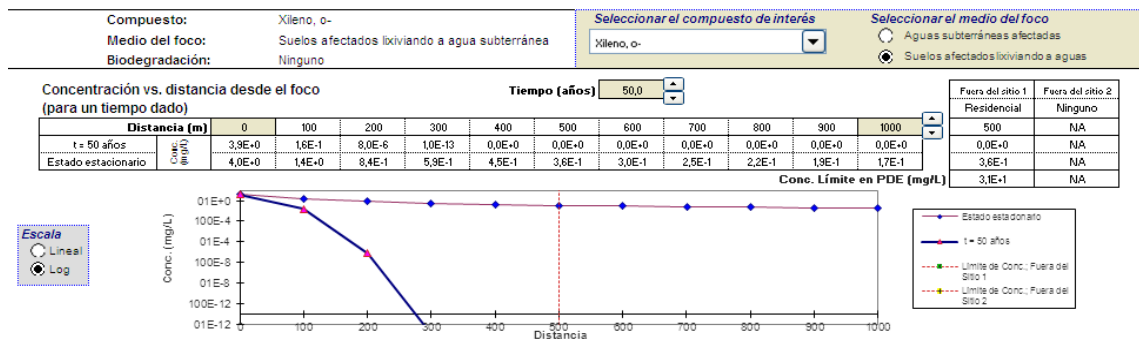
XILENO, O-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

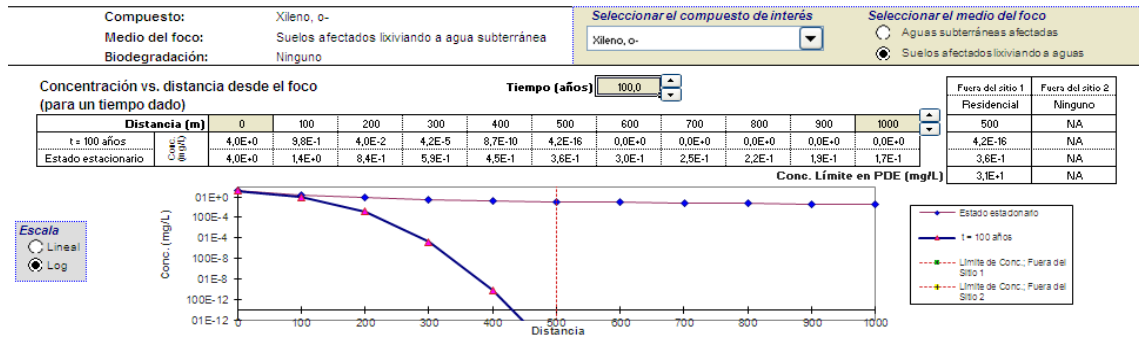
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



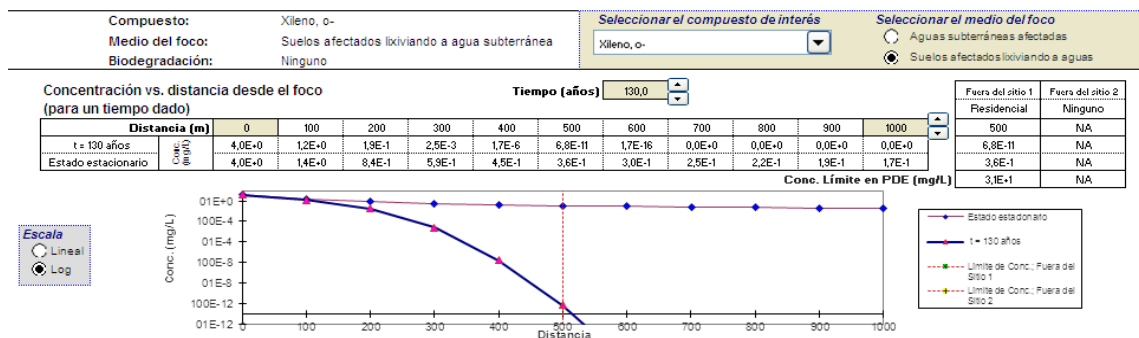
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



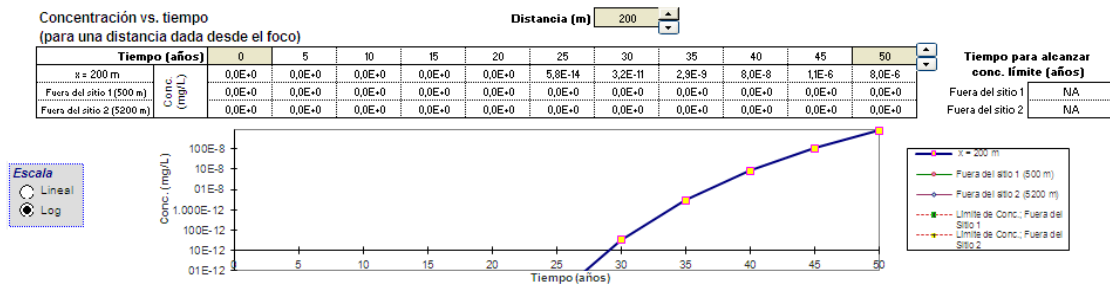
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

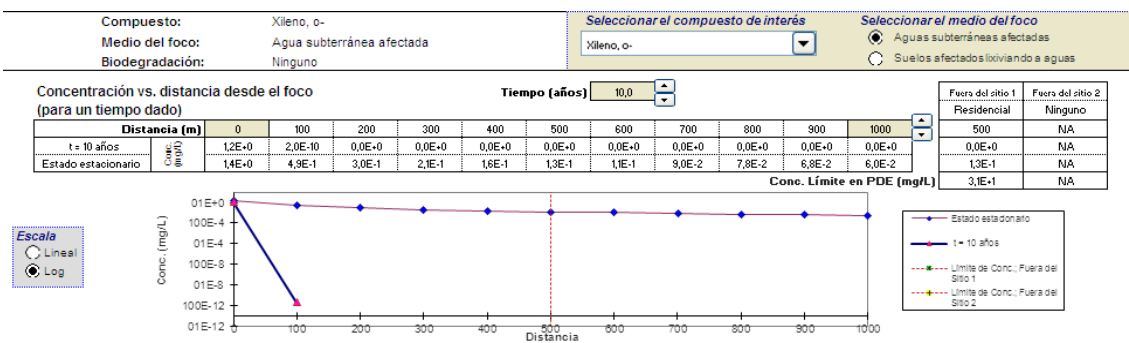


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

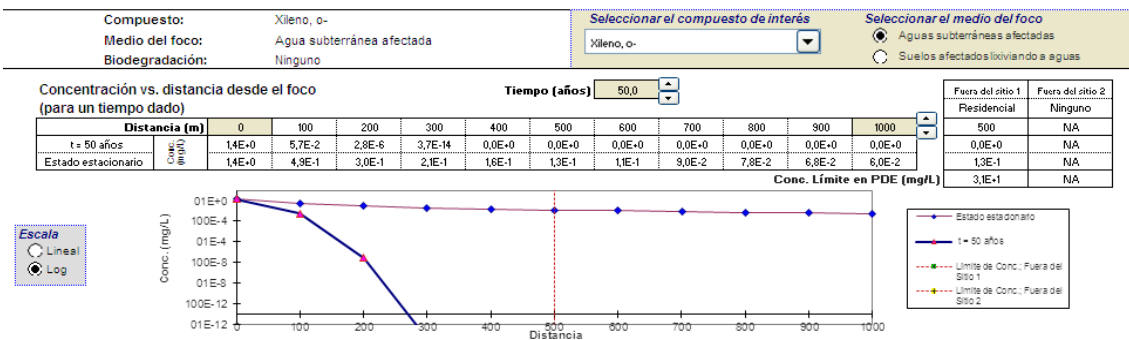


2. Aguas subterráneas afectadas.

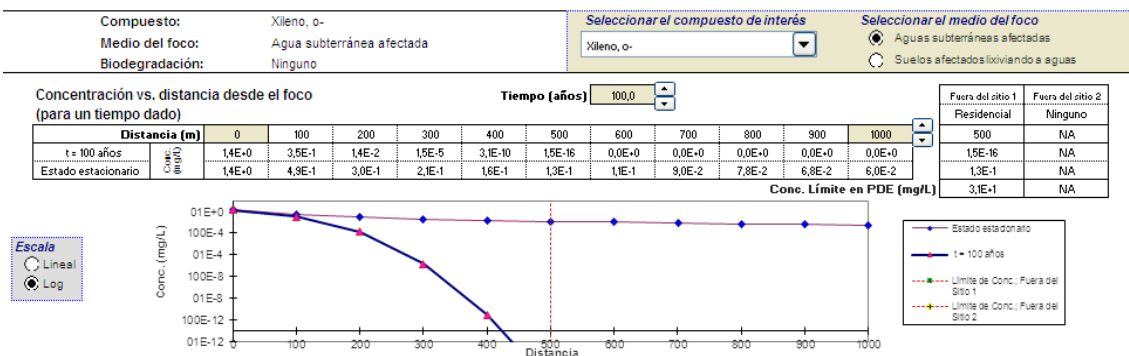
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



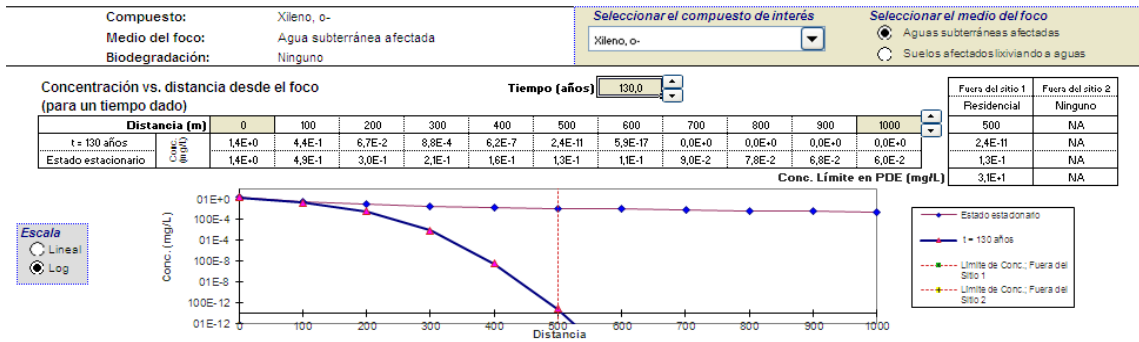
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



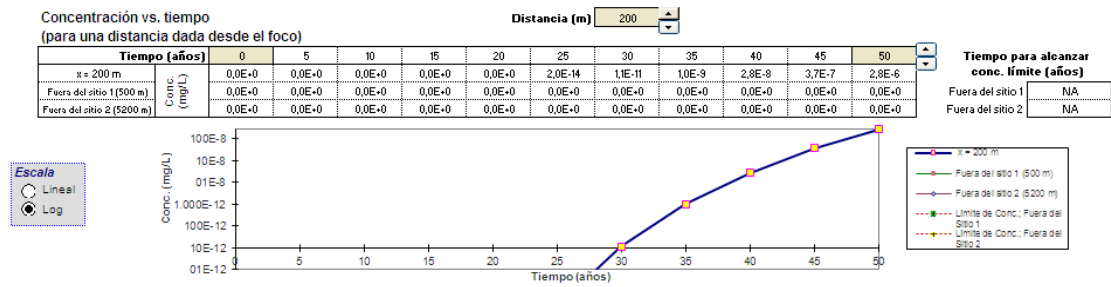
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



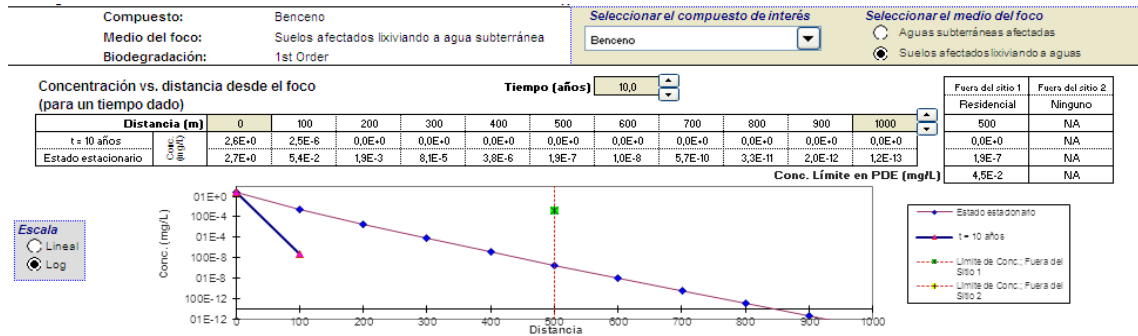
ANEXO 6: Análisis transitorio de Domenico

(CASO B)

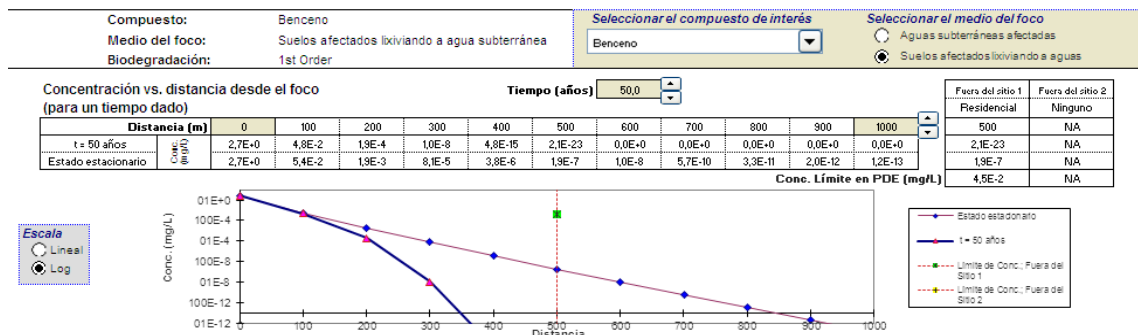
BENCENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

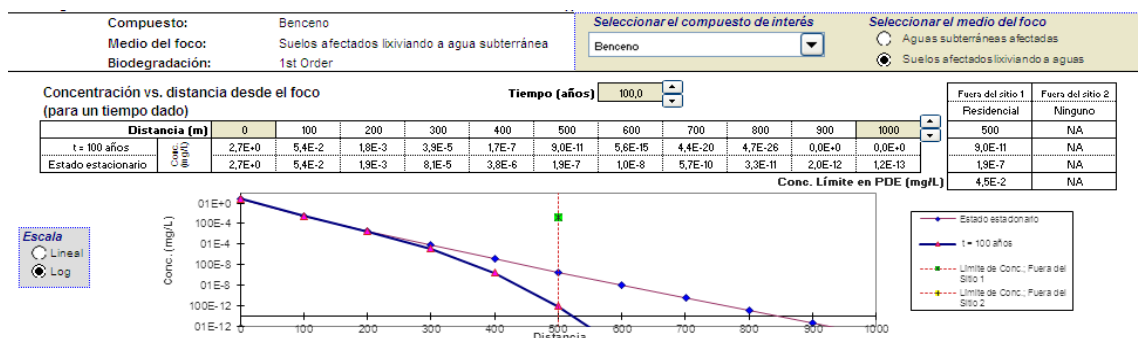
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



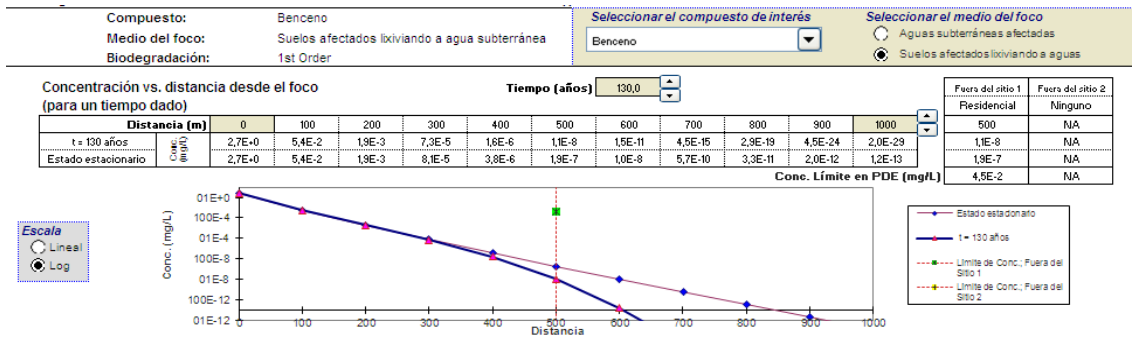
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



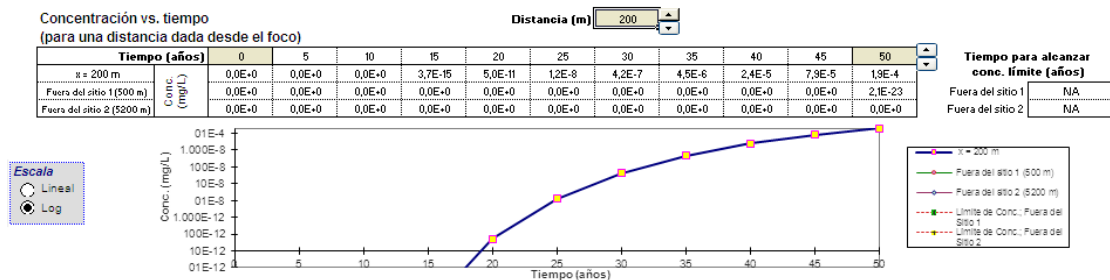
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

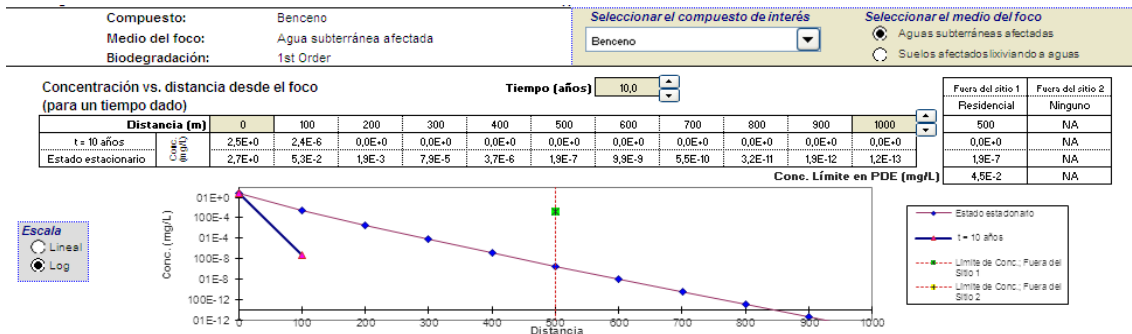


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

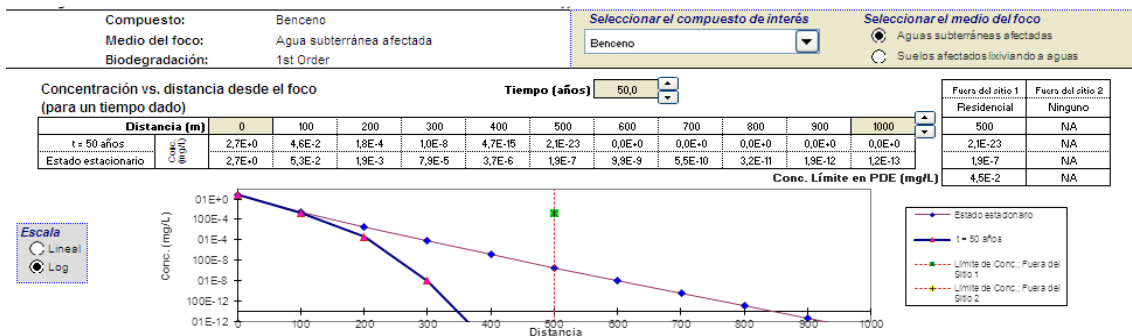


2. Aguas subterráneas afectadas.

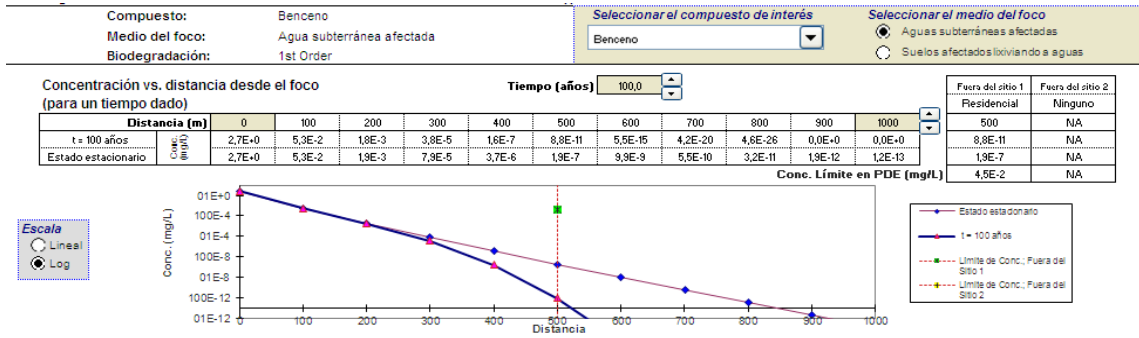
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



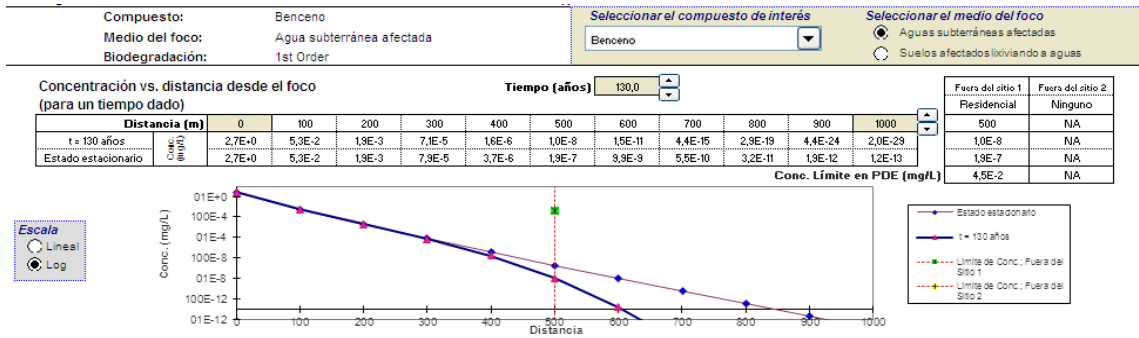
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



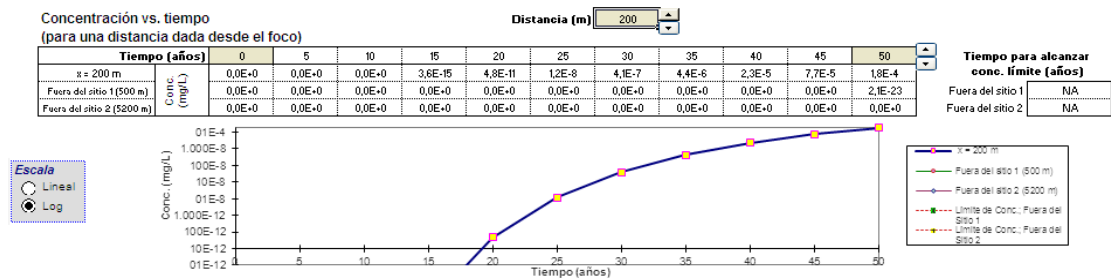
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



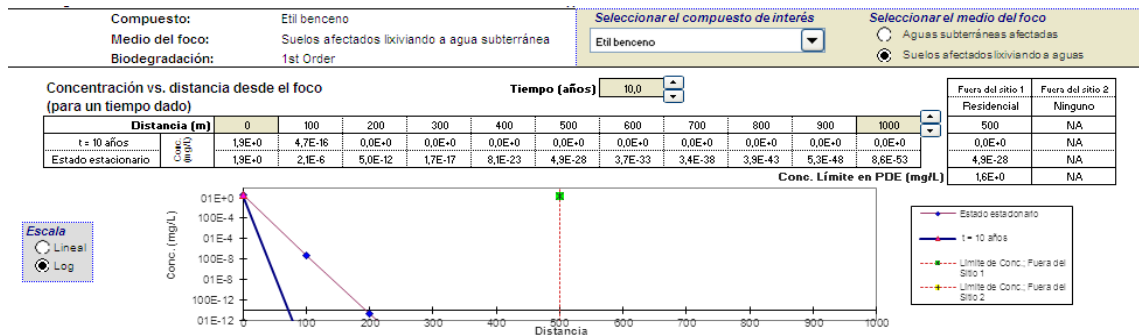
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



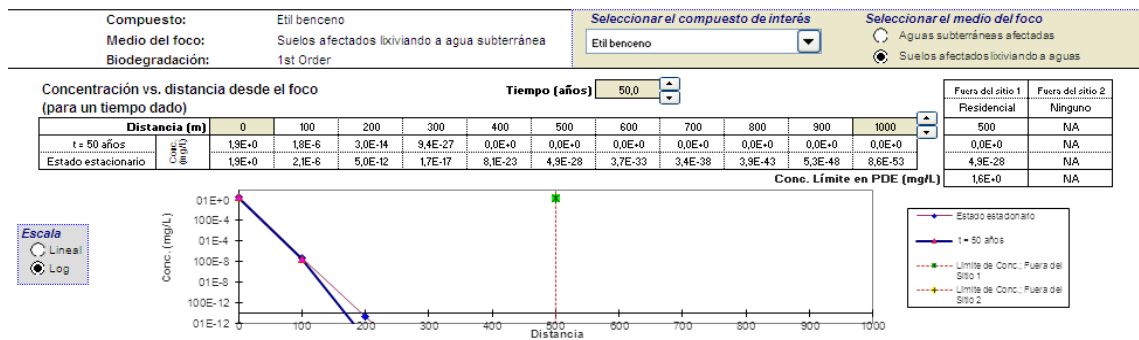
ETIL BENCENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

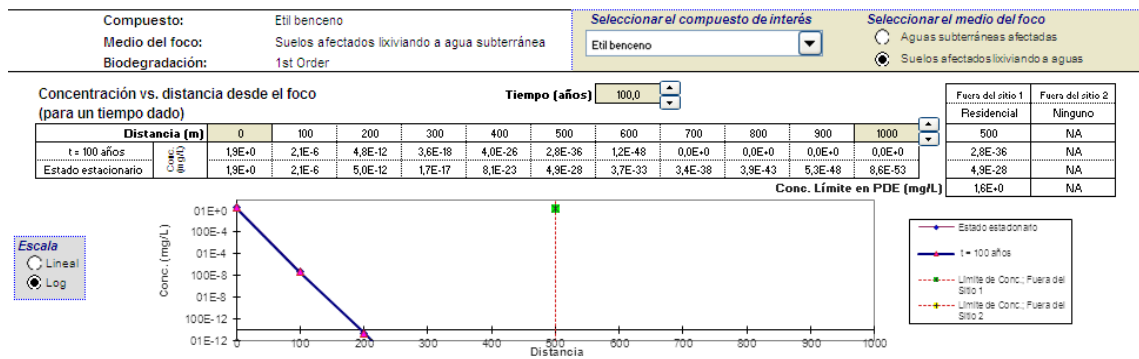
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



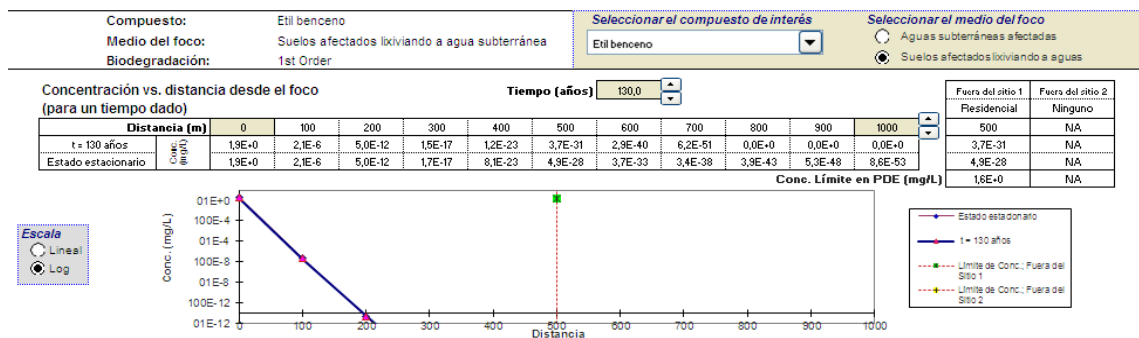
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



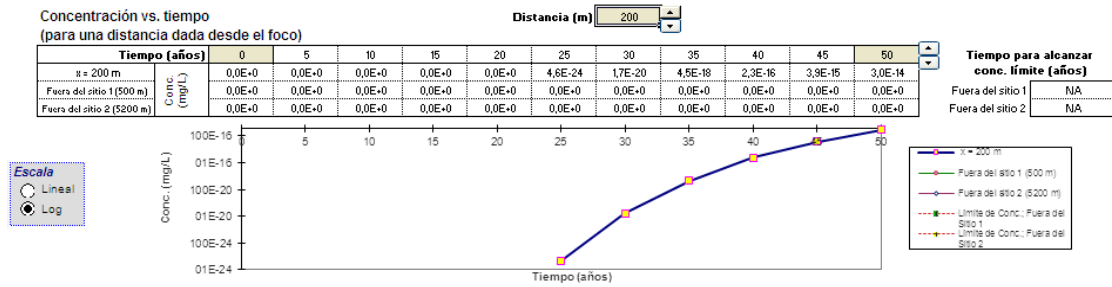
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

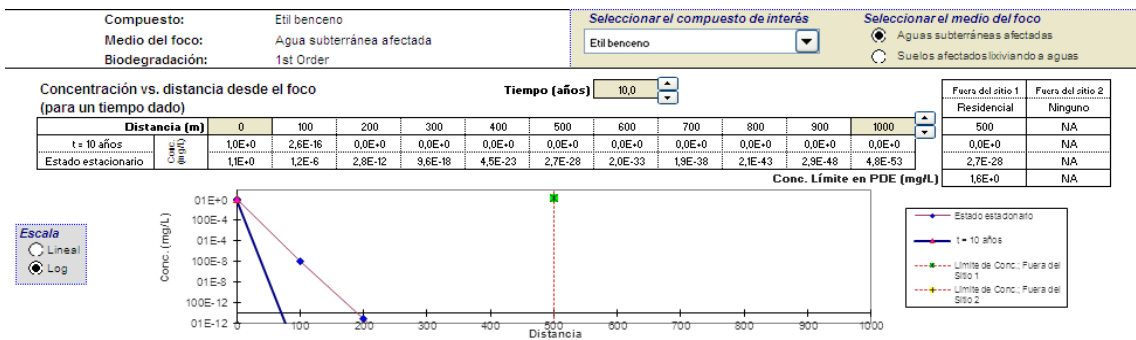


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

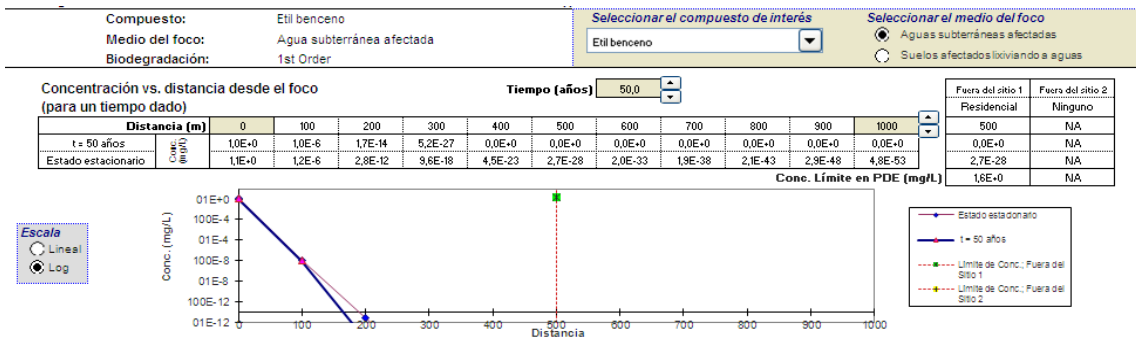


2. Aguas subterráneas afectadas.

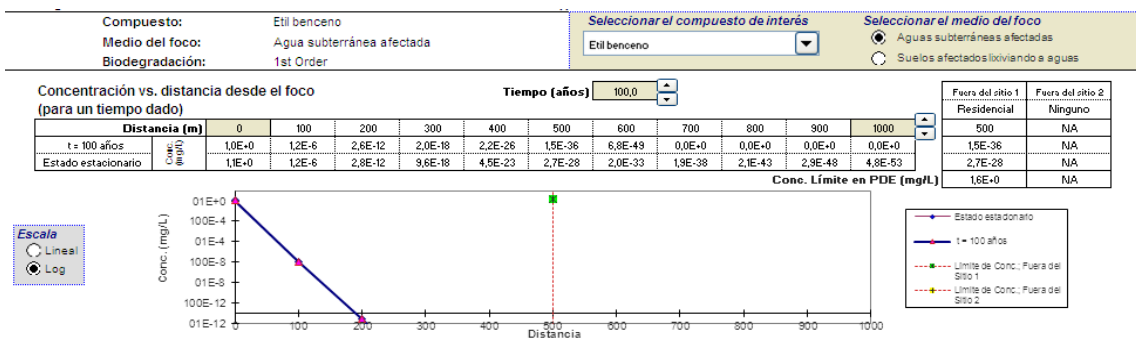
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



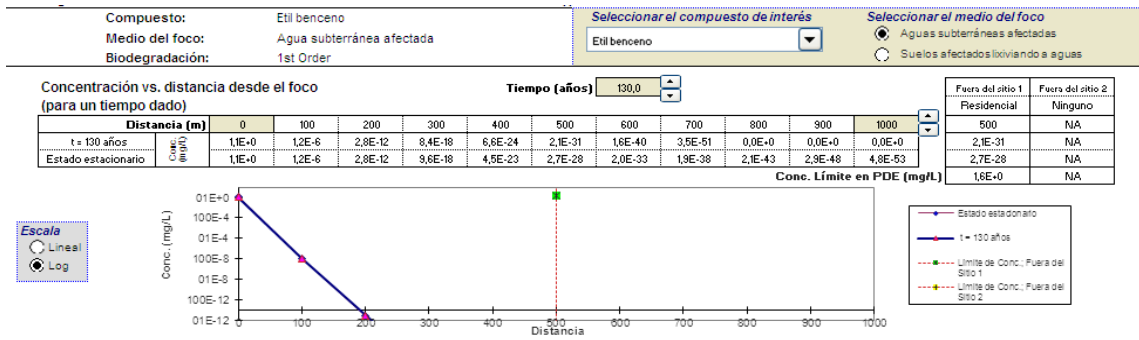
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



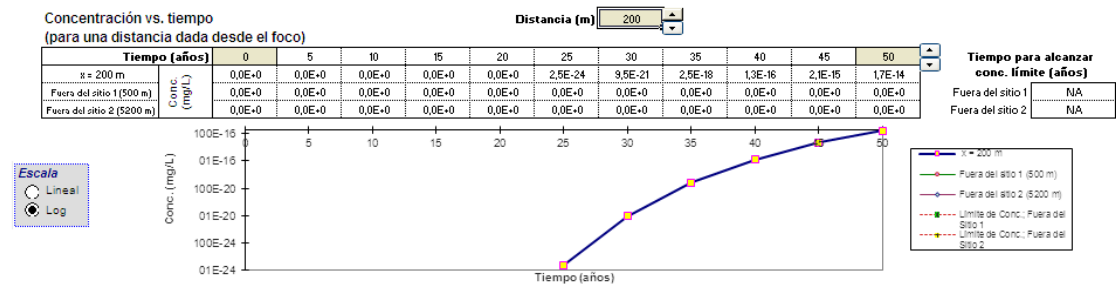
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



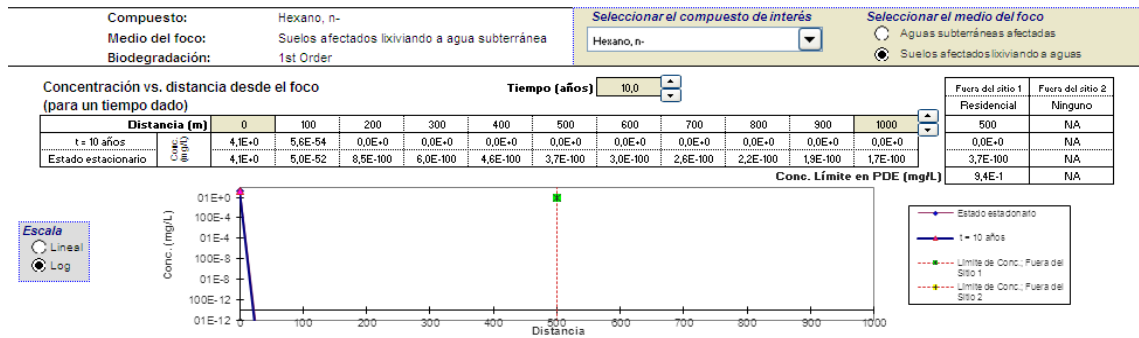
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



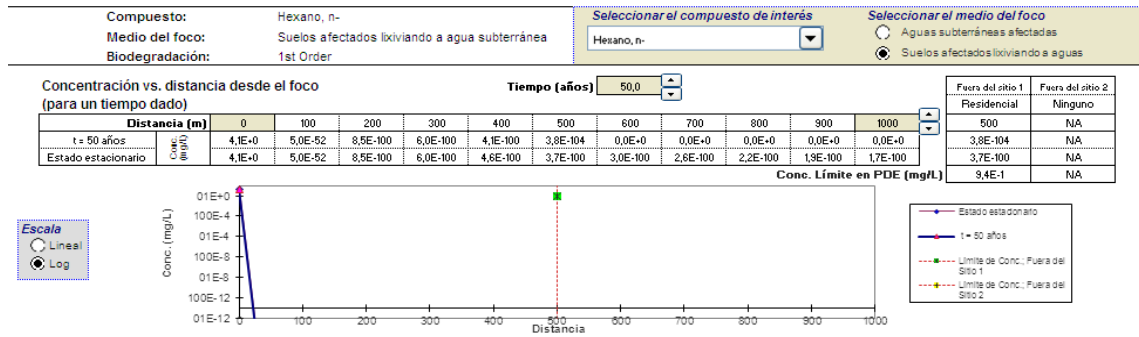
HEXANO, N-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

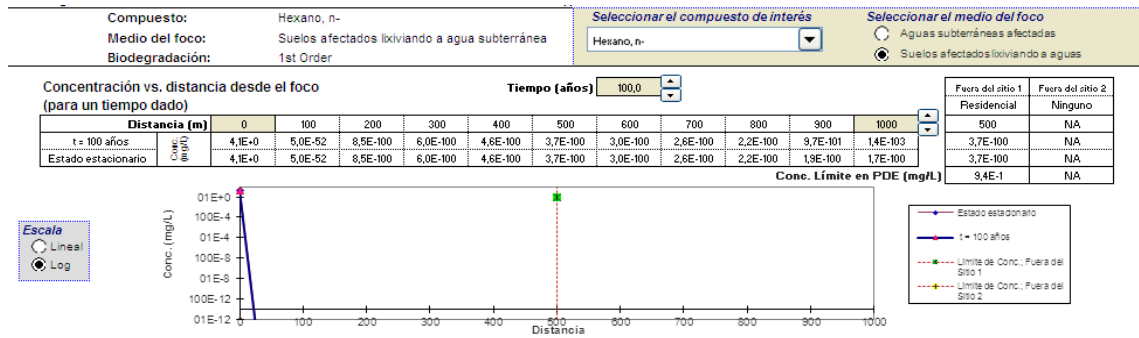
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



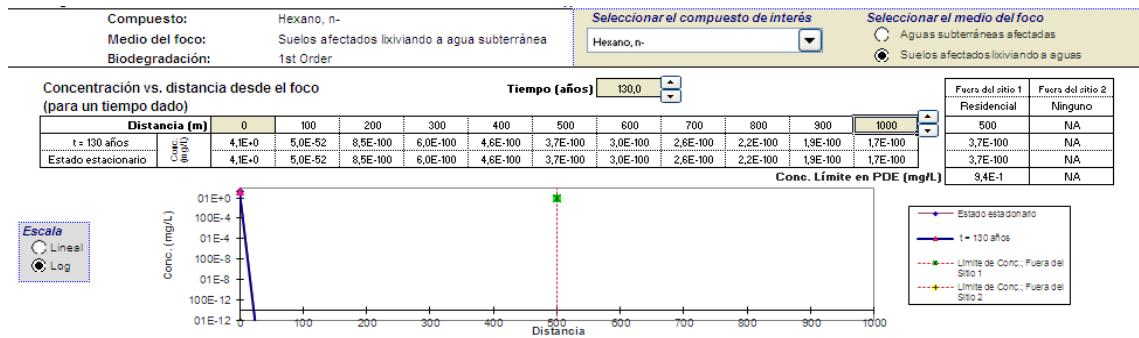
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



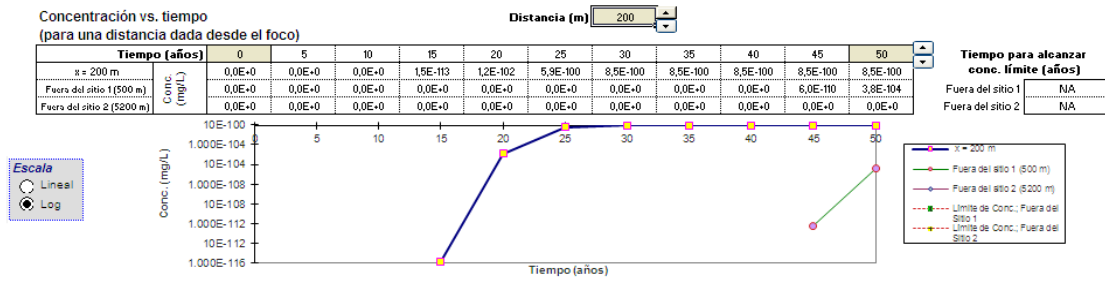
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

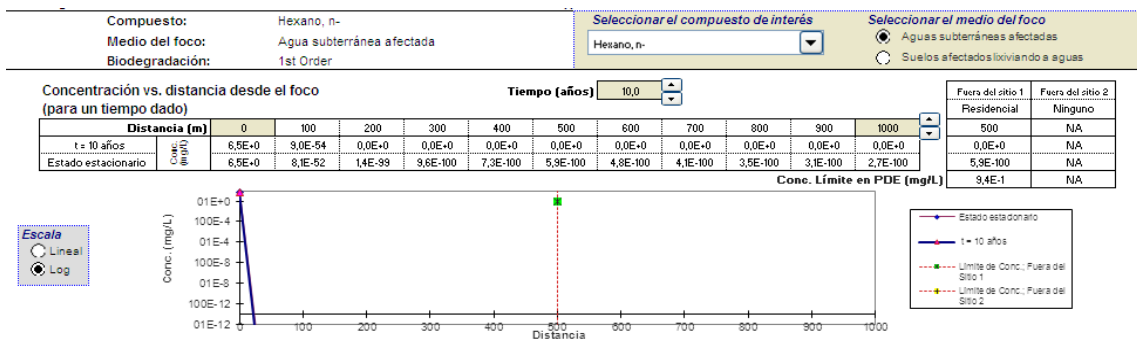


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

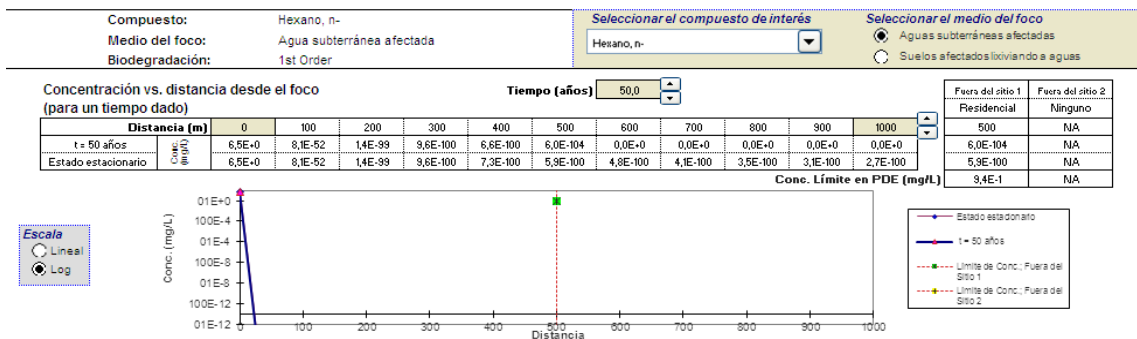


2. Aguas subterráneas afectadas.

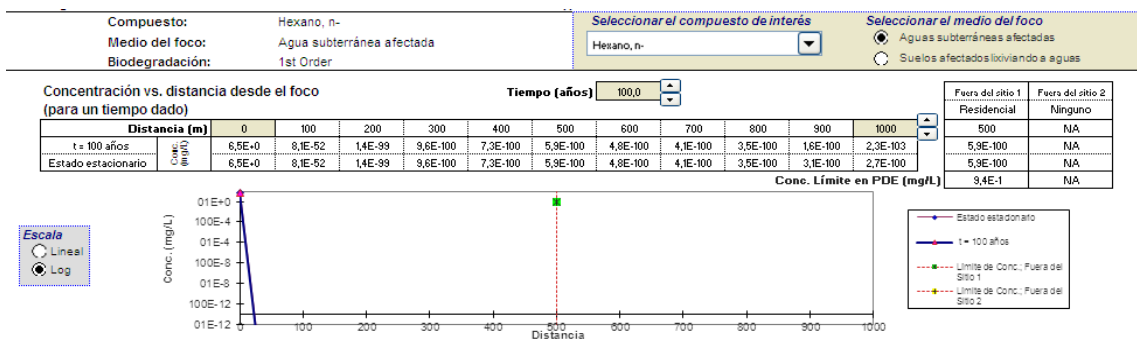
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



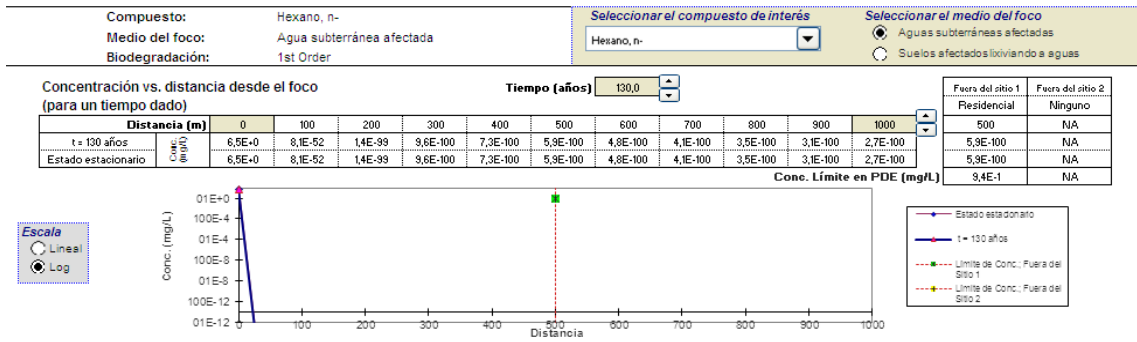
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



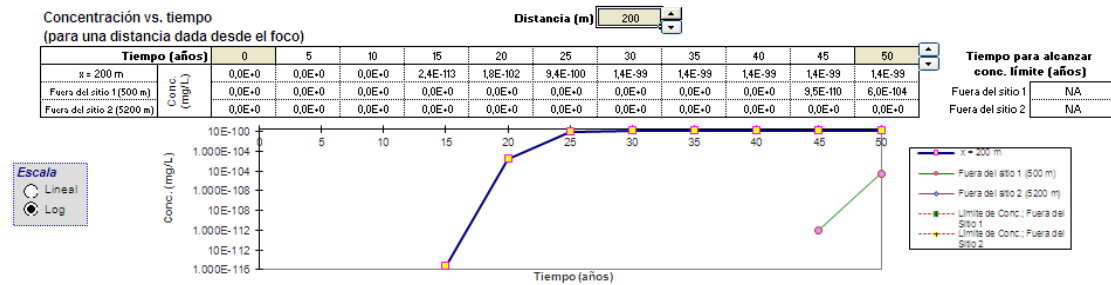
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



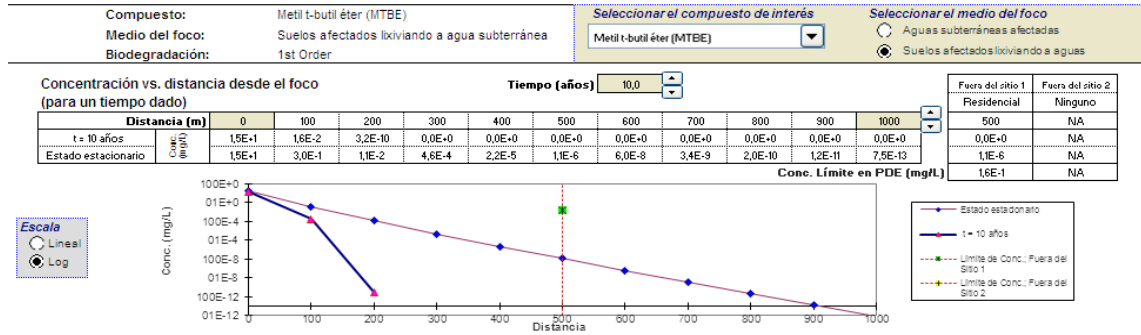
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



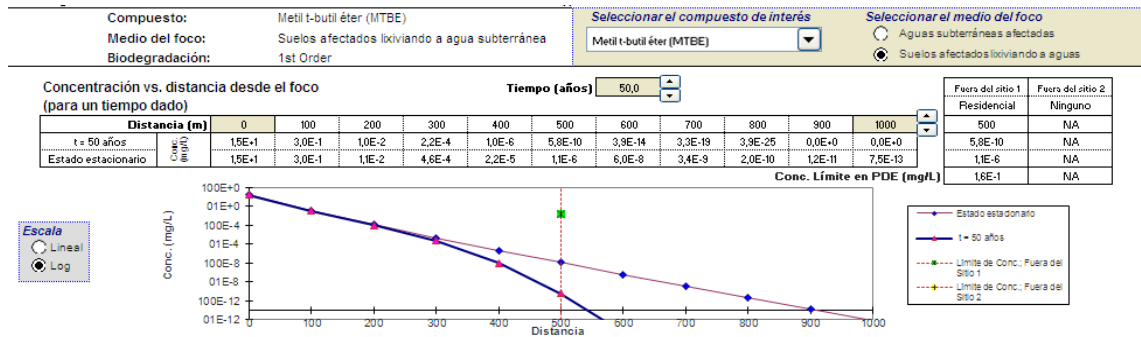
METIL T-BUTIL ÉTER (MTBE)

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

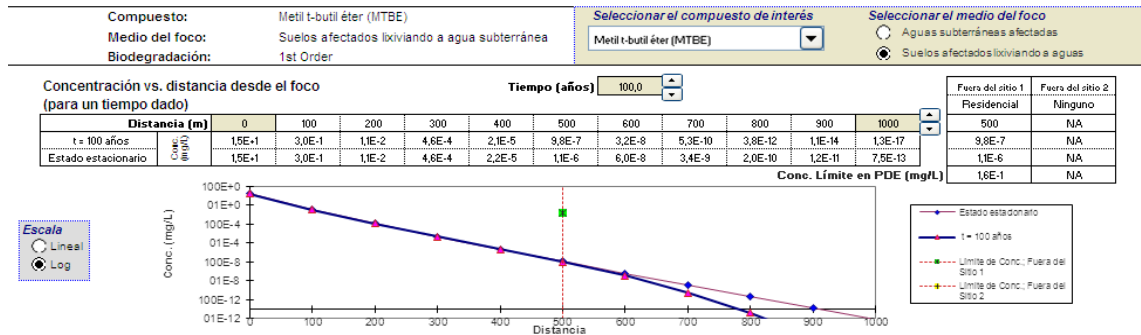
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



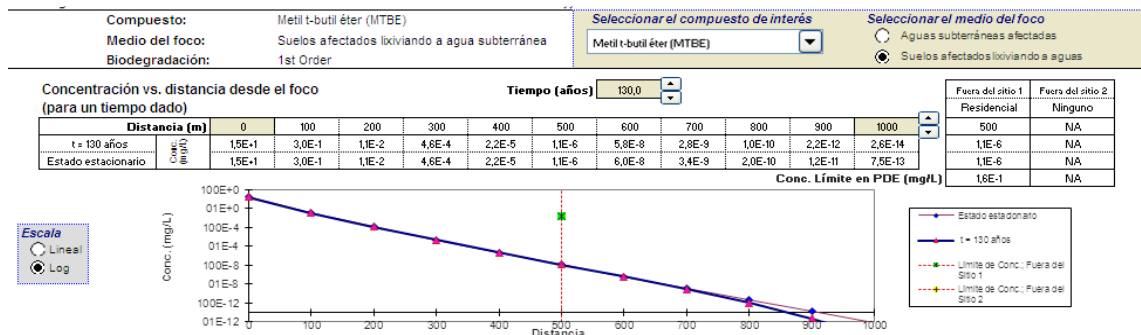
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



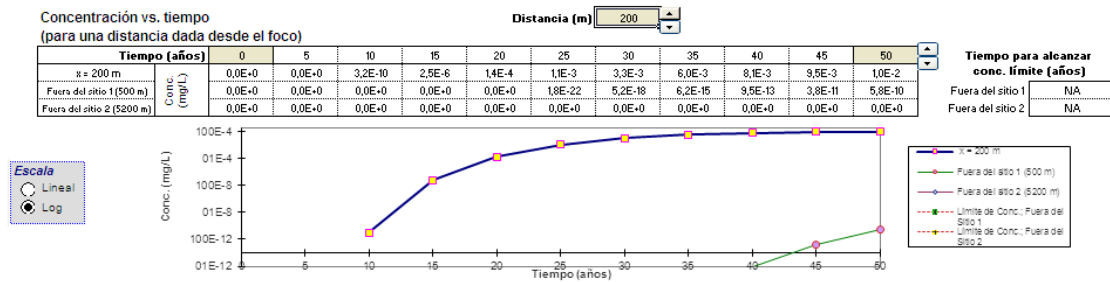
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

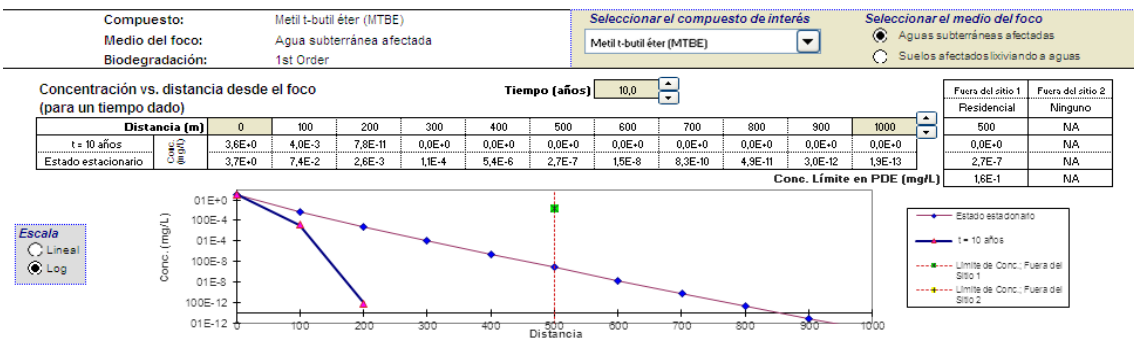


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

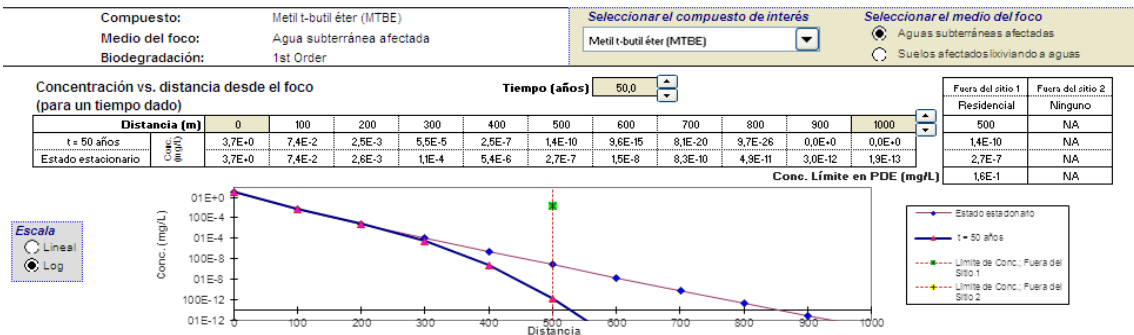


2. Aguas subterráneas afectadas.

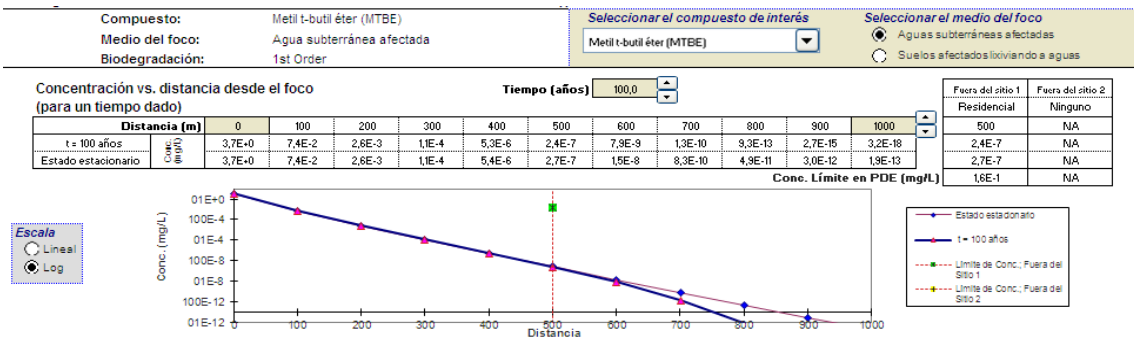
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



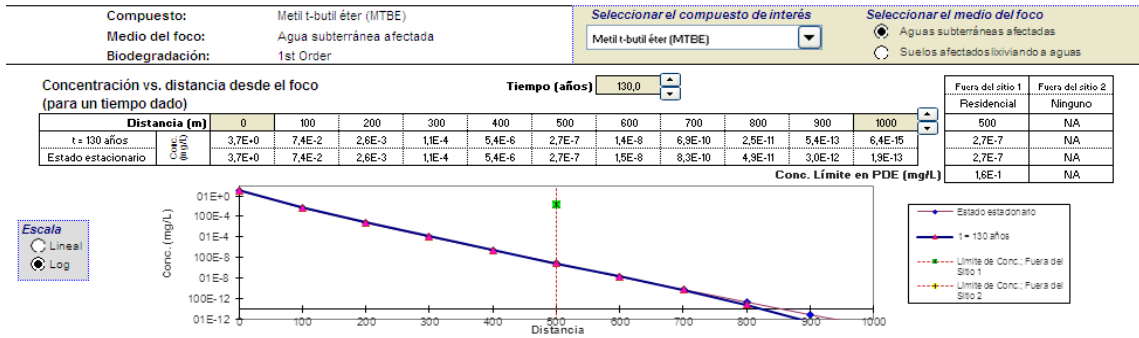
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



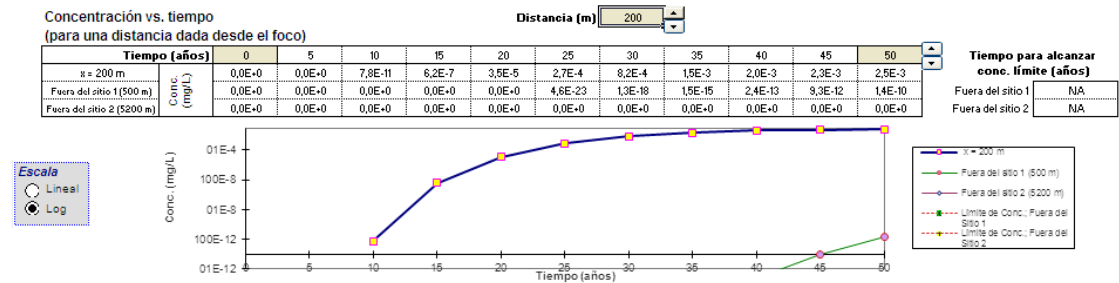
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



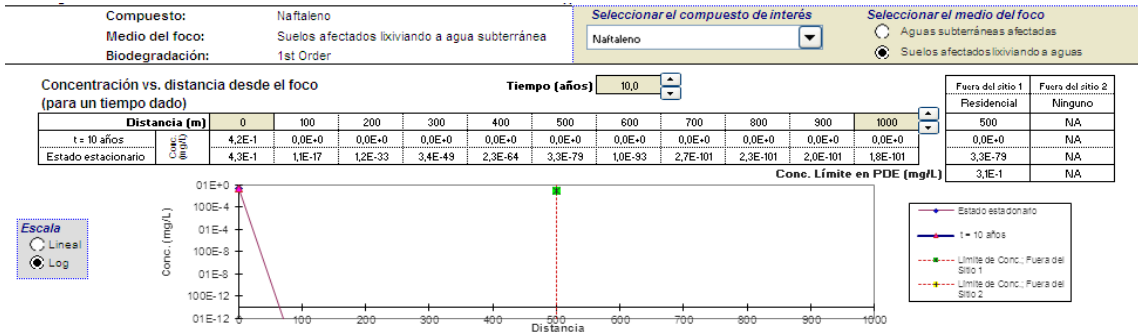
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



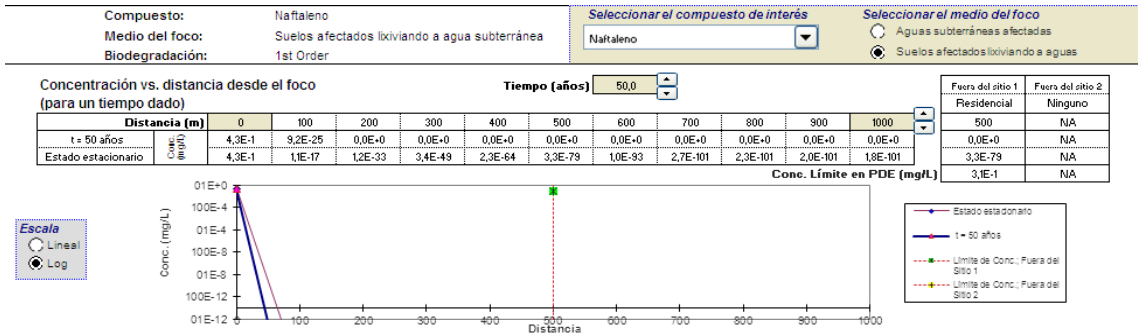
NAFTALENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

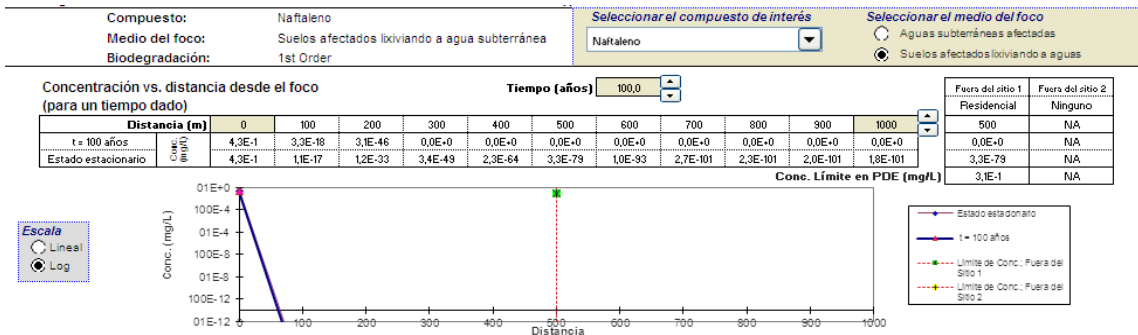
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



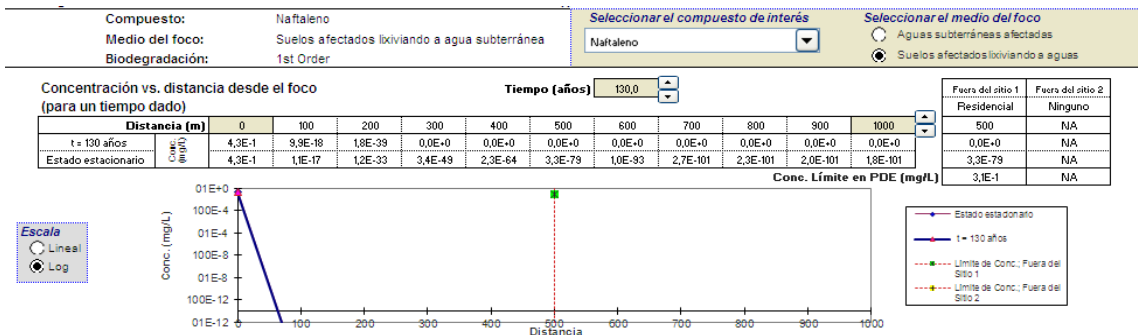
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



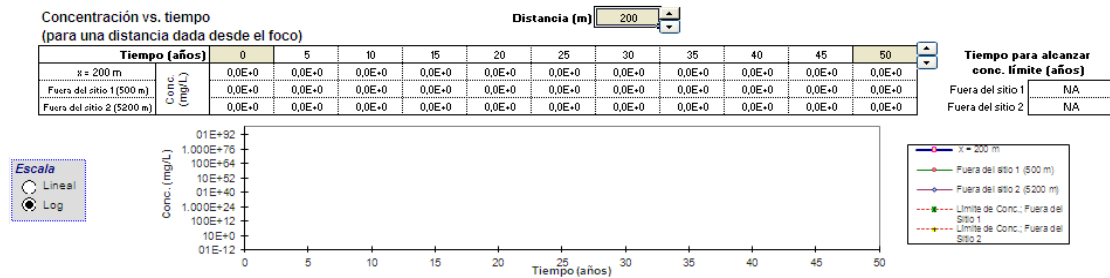
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

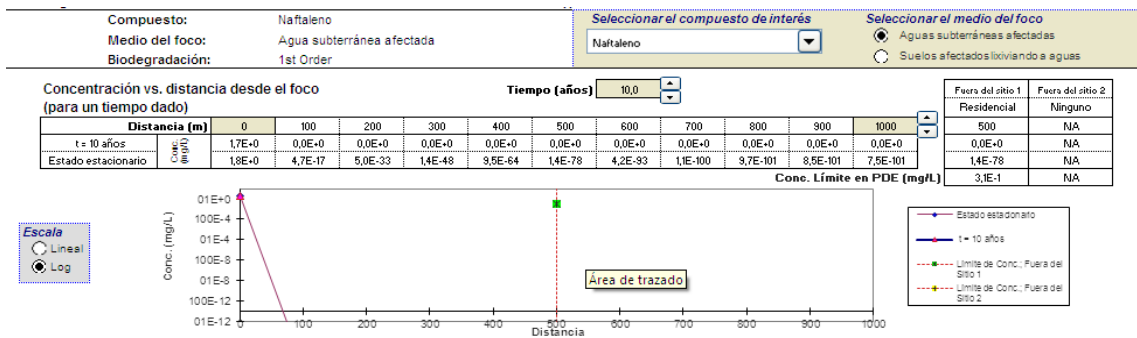


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

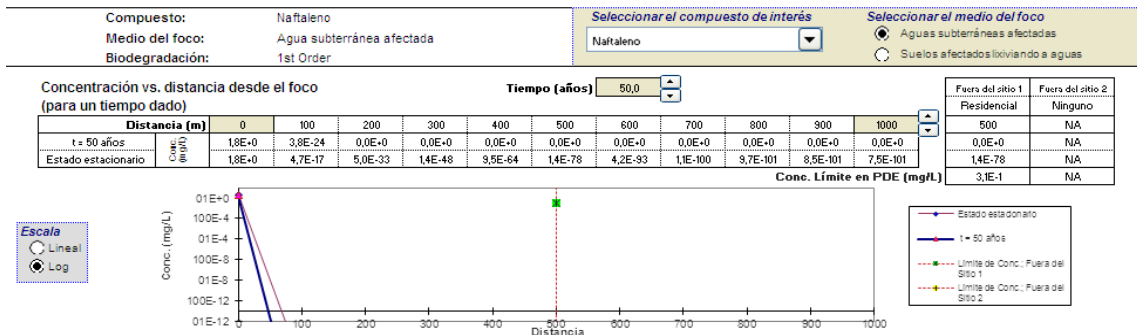


2. Aguas subterráneas afectadas.

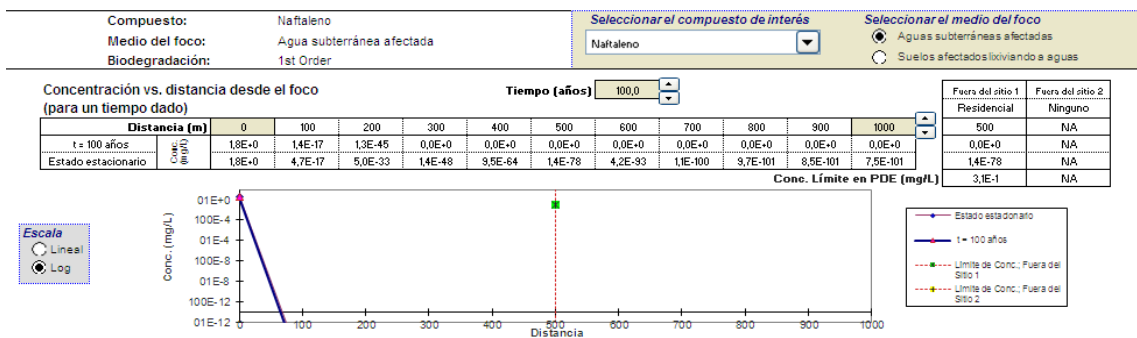
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



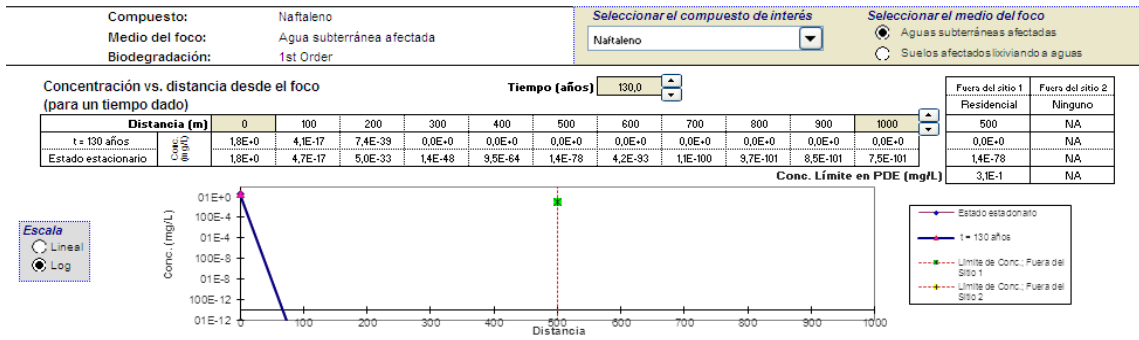
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



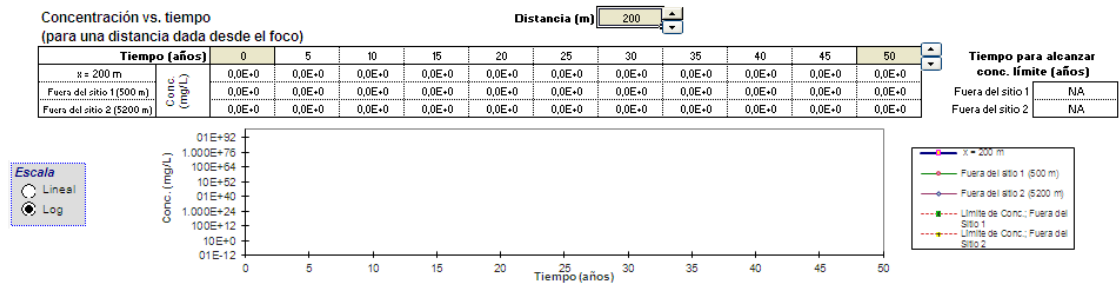
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



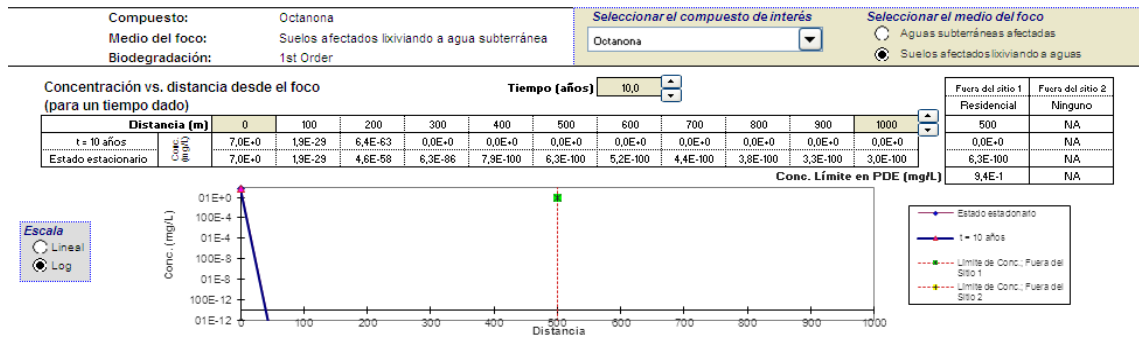
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



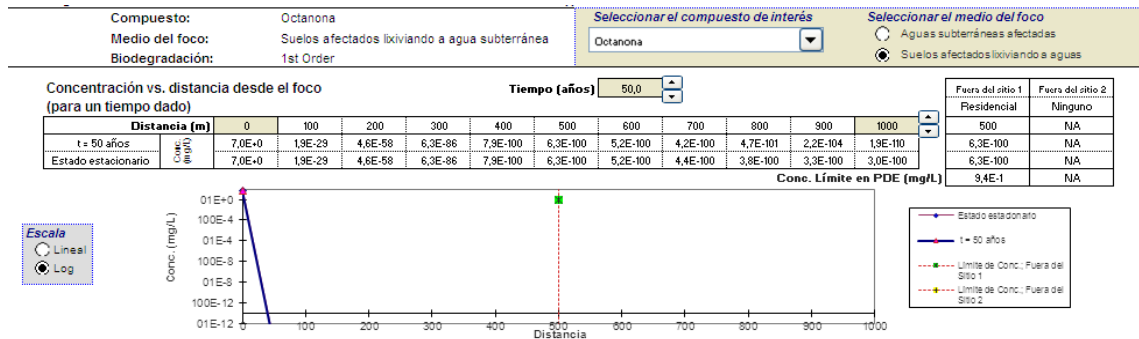
OCTANONA

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

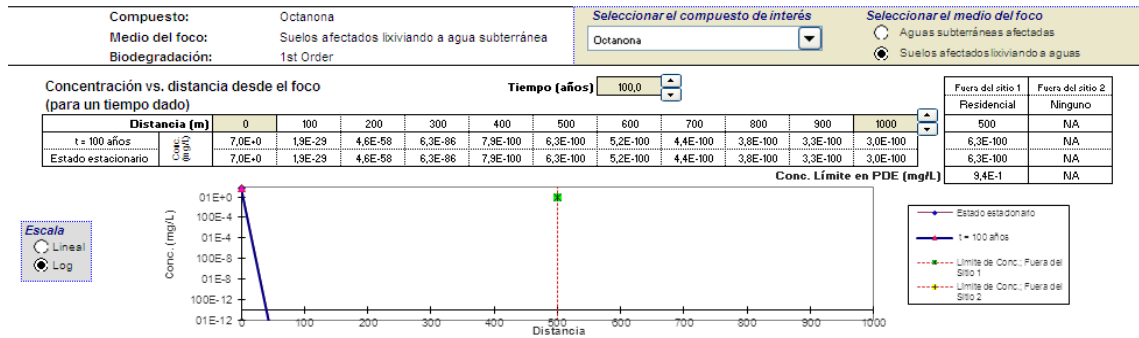
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



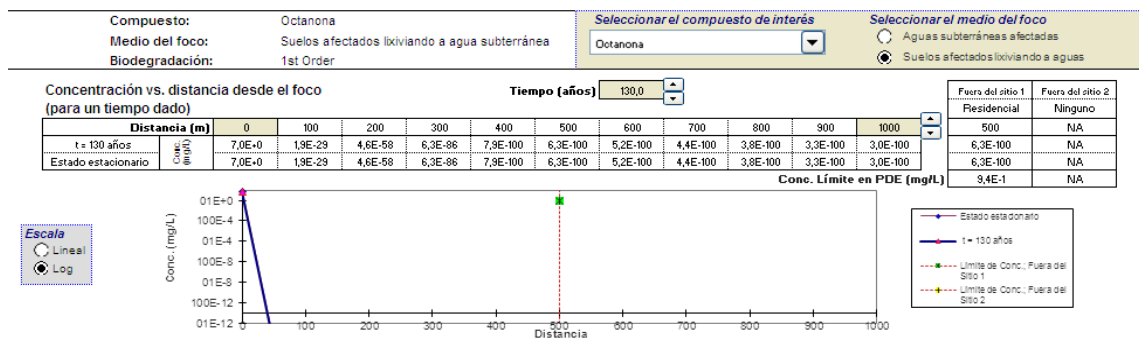
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



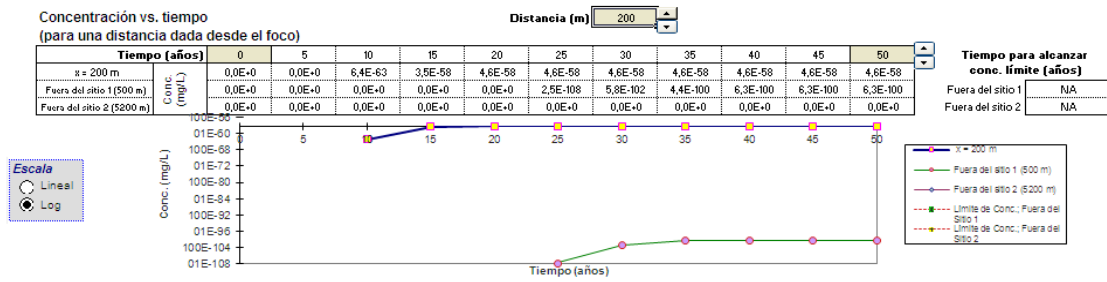
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

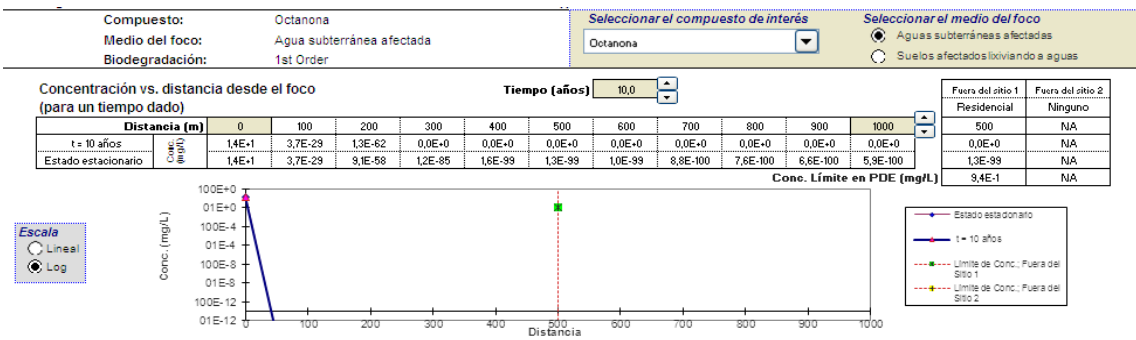


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

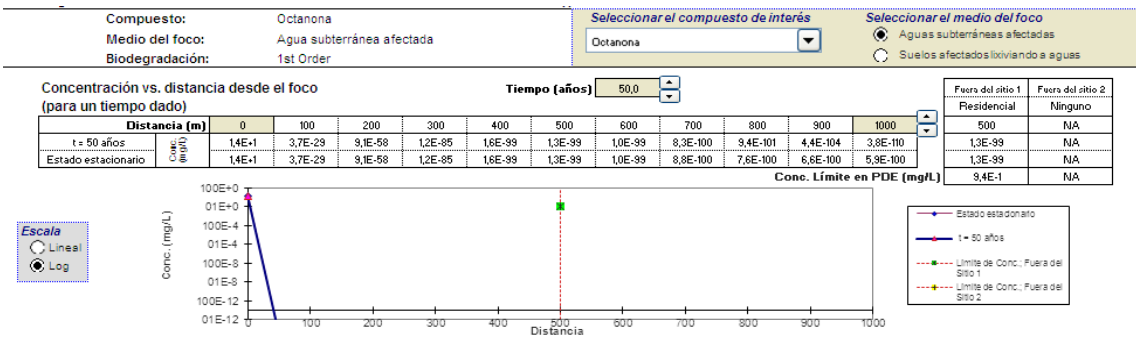


2. Aguas subterráneas afectadas.

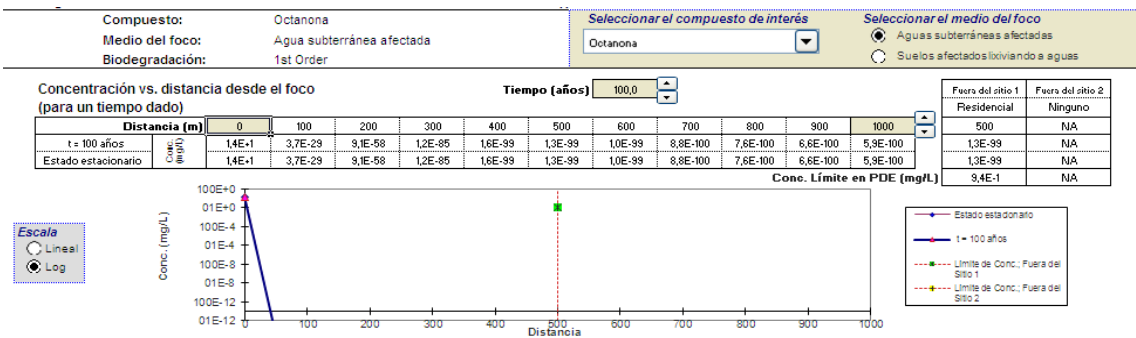
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



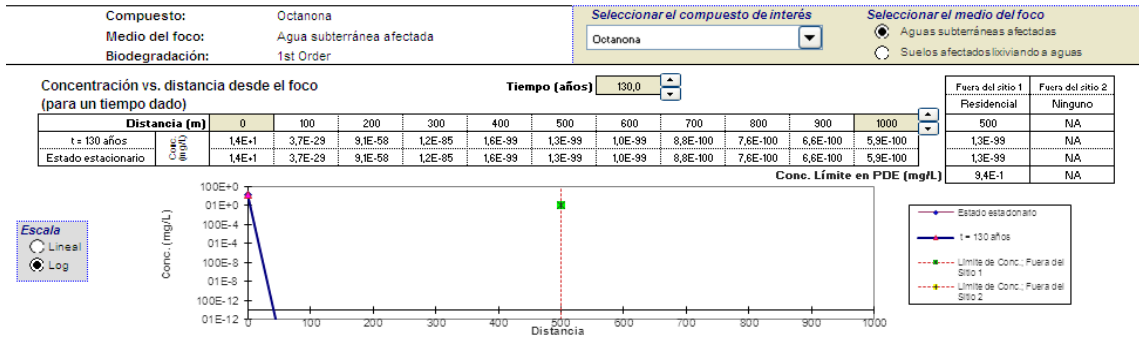
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



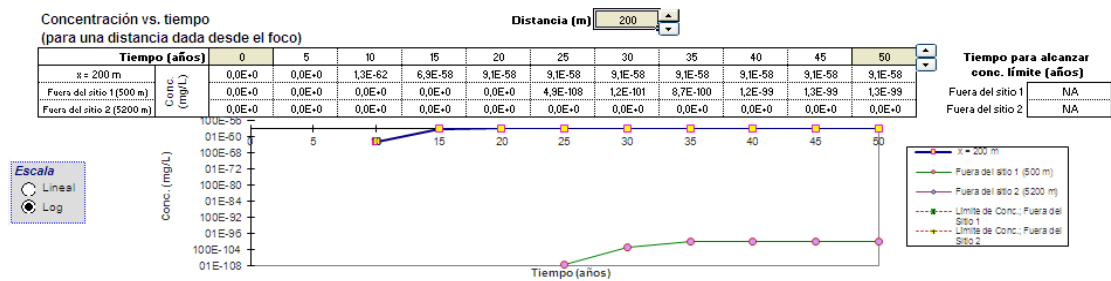
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



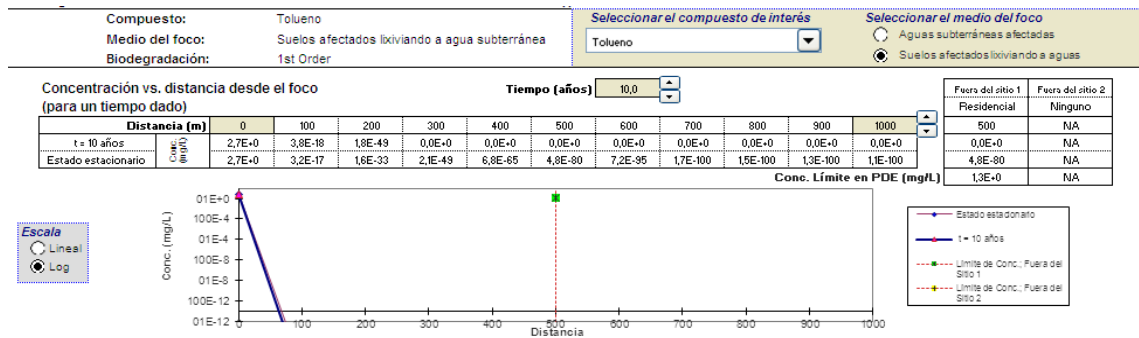
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



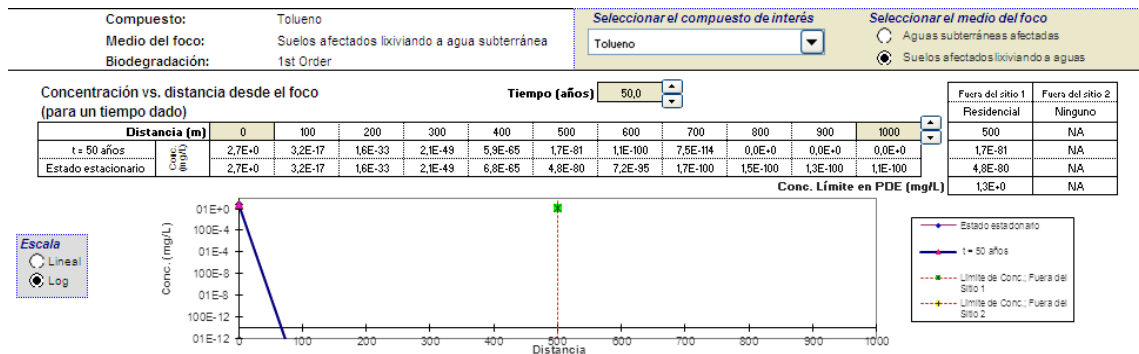
TOLUENO

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

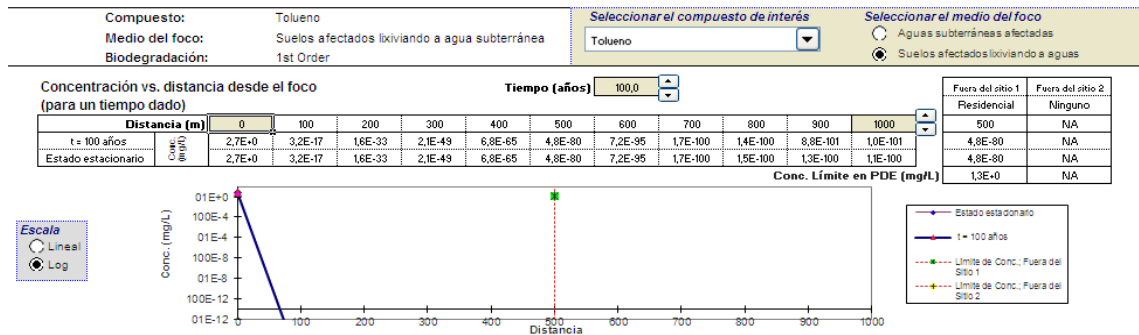
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



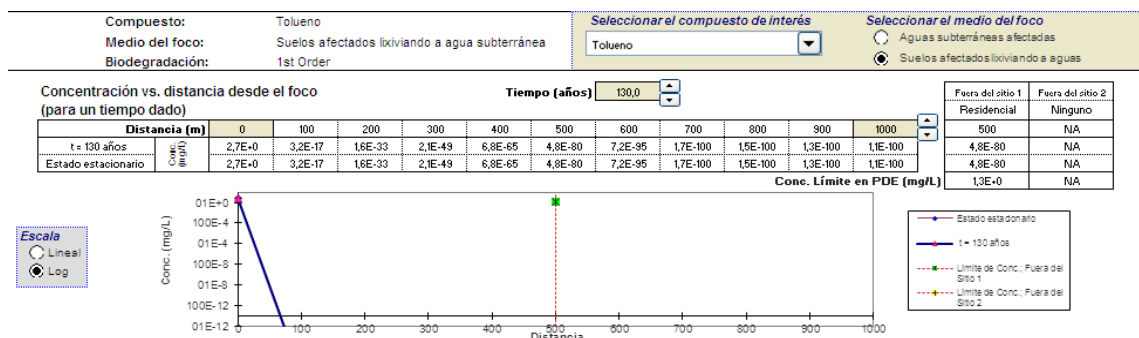
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



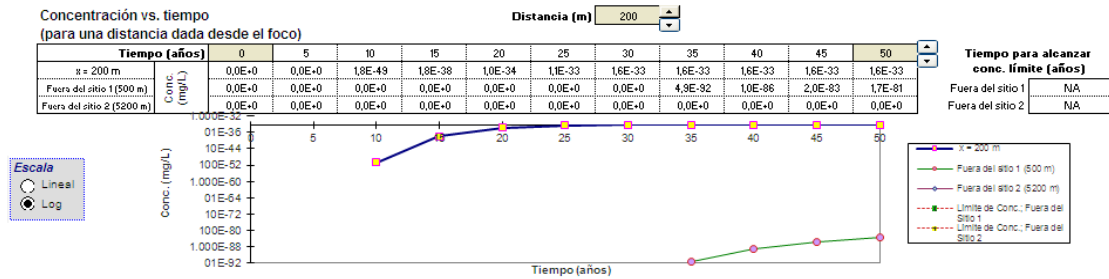
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

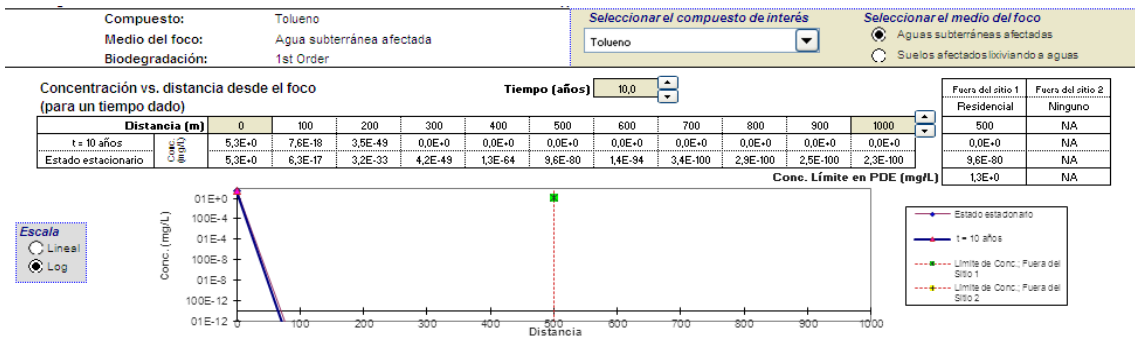


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

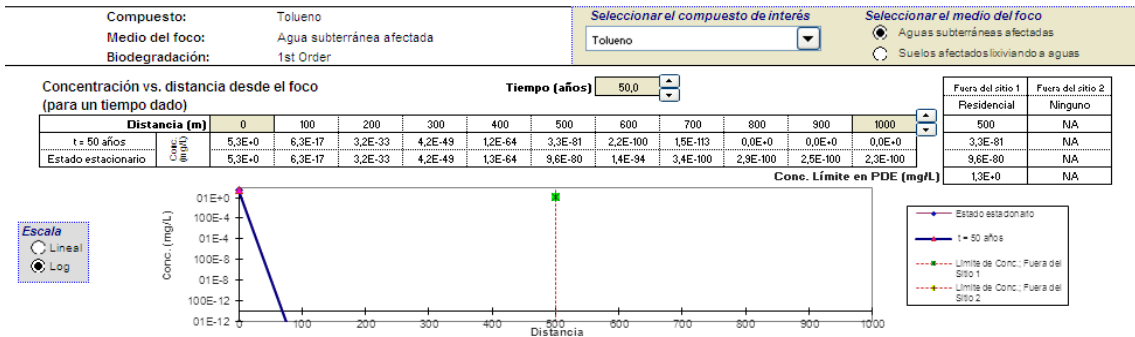


2. Aguas subterráneas afectadas.

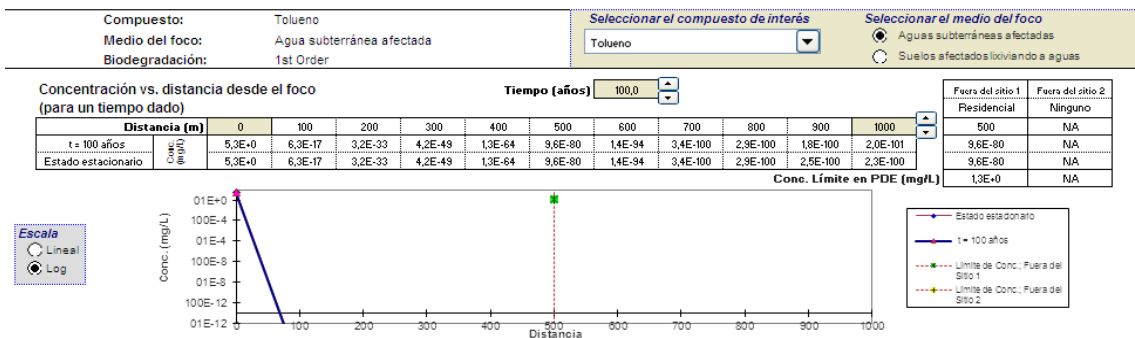
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



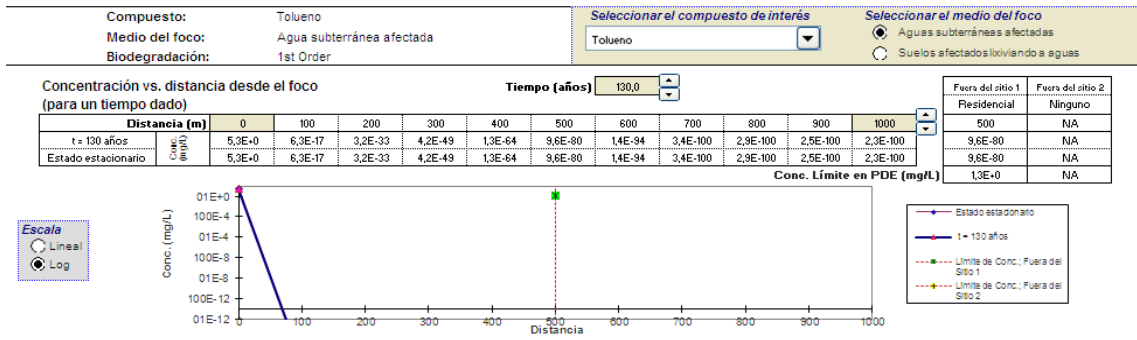
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



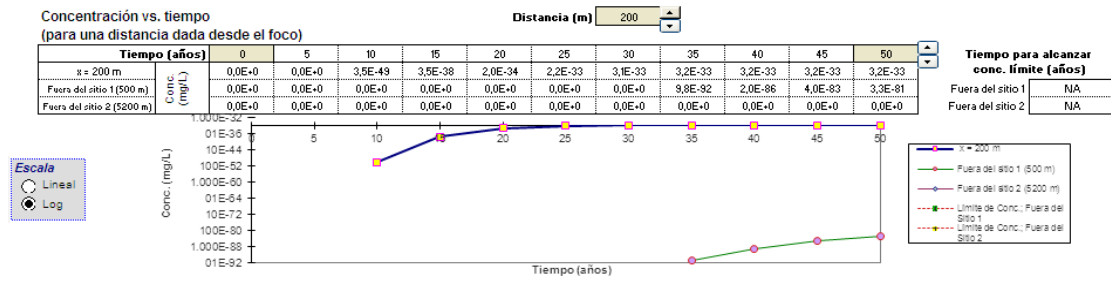
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



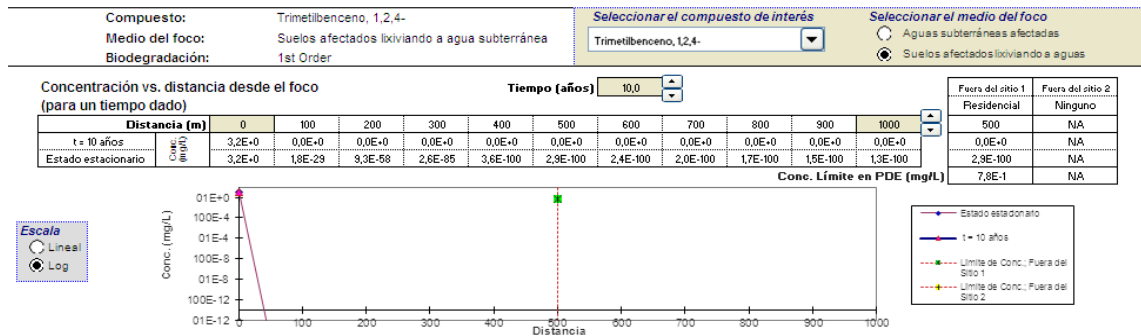
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



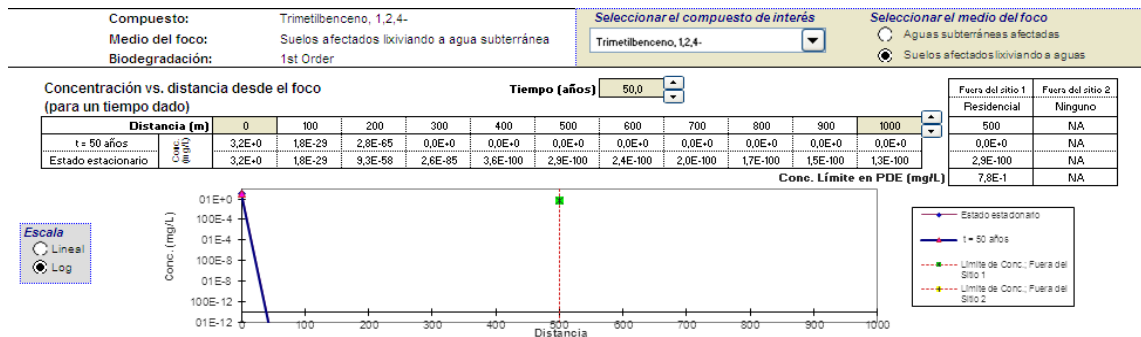
TRIMETILBENCENO, 1, 2, 4-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

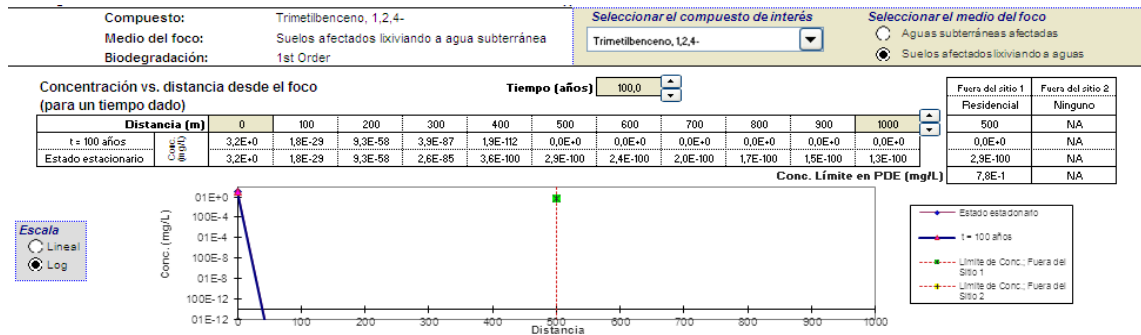
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



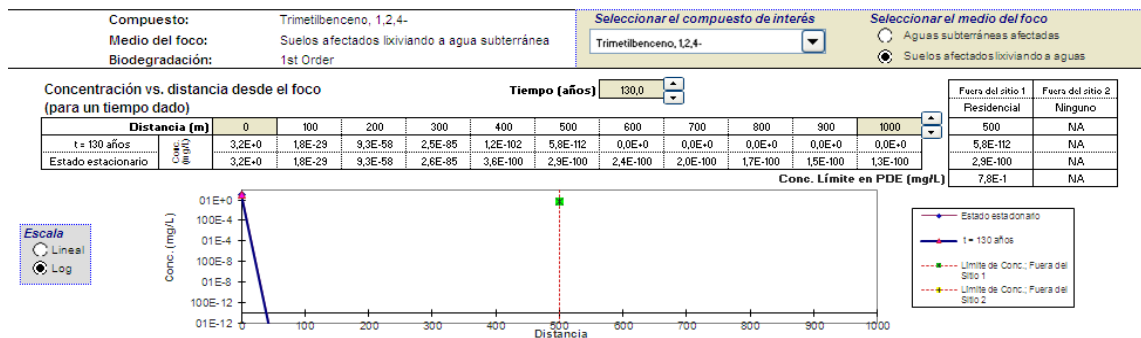
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



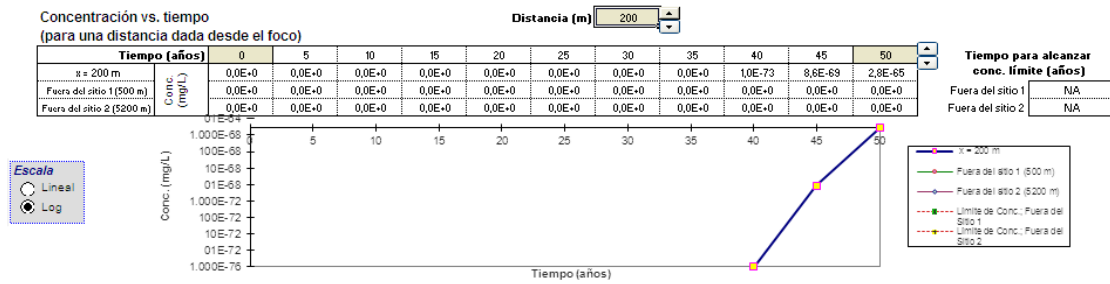
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

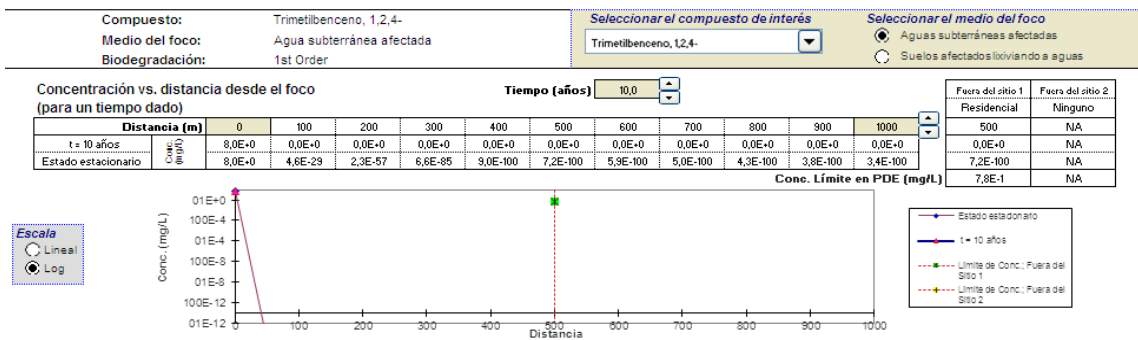


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

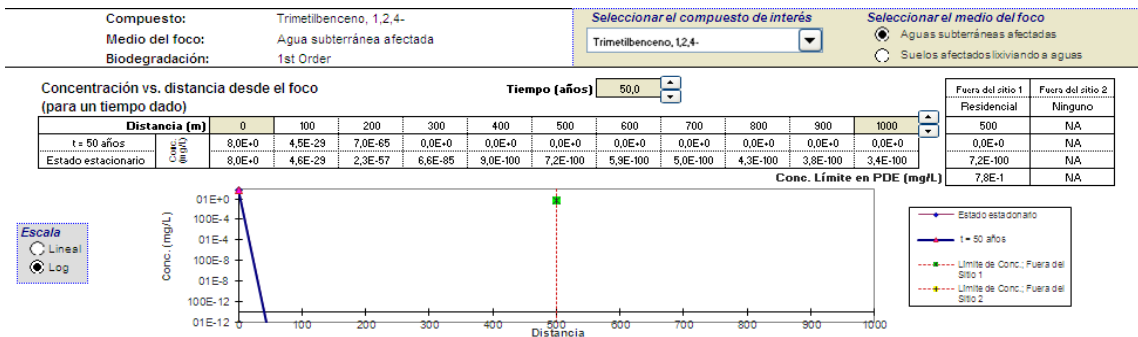


2. Aguas subterráneas afectadas.

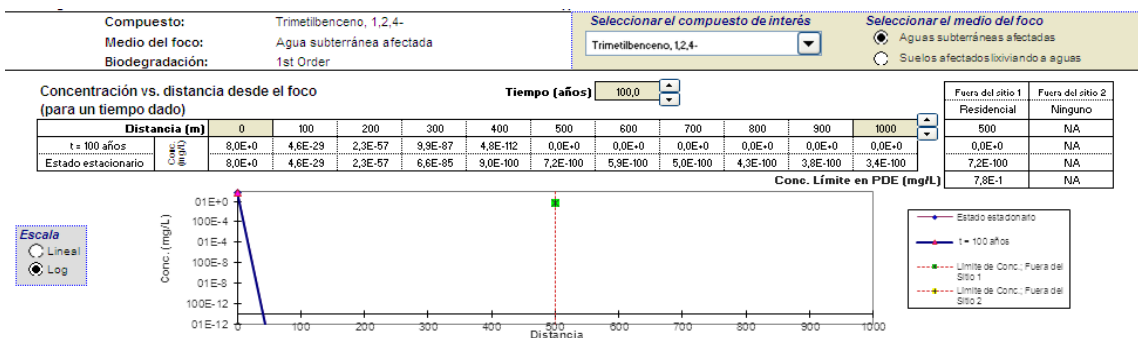
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



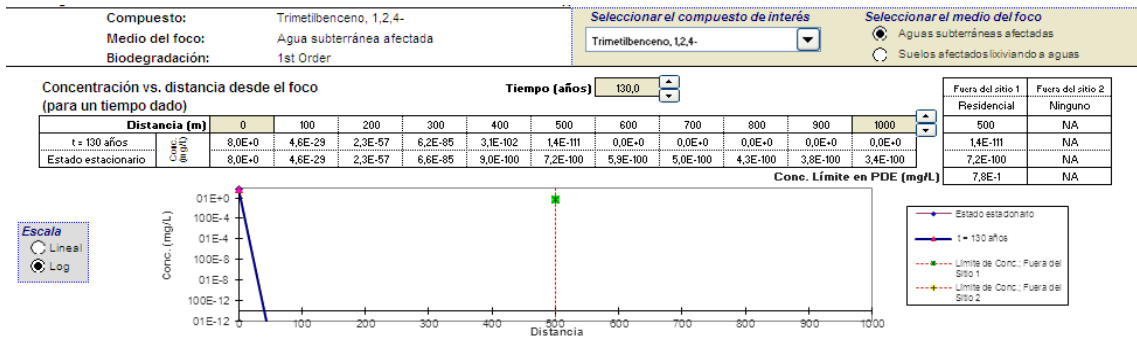
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



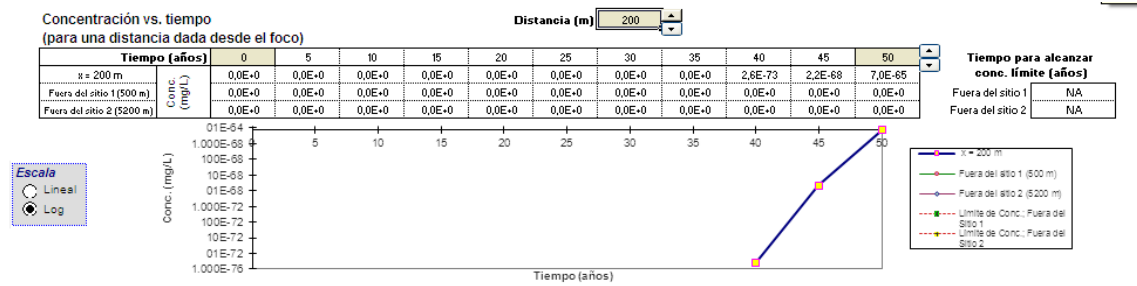
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



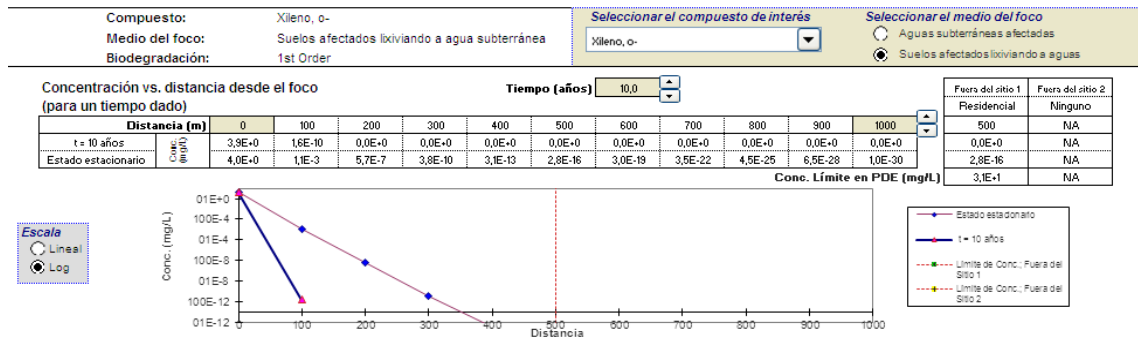
e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



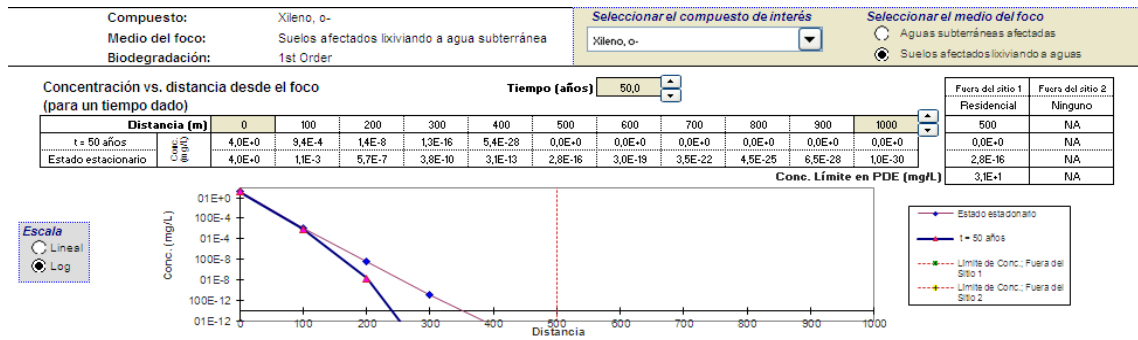
XILENO, O-

1. Suelos afectados lixiviando a aguas subterráneas.

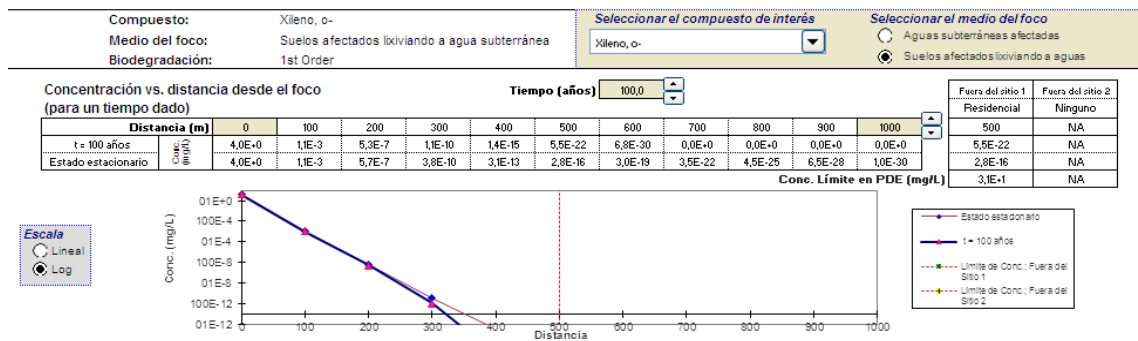
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



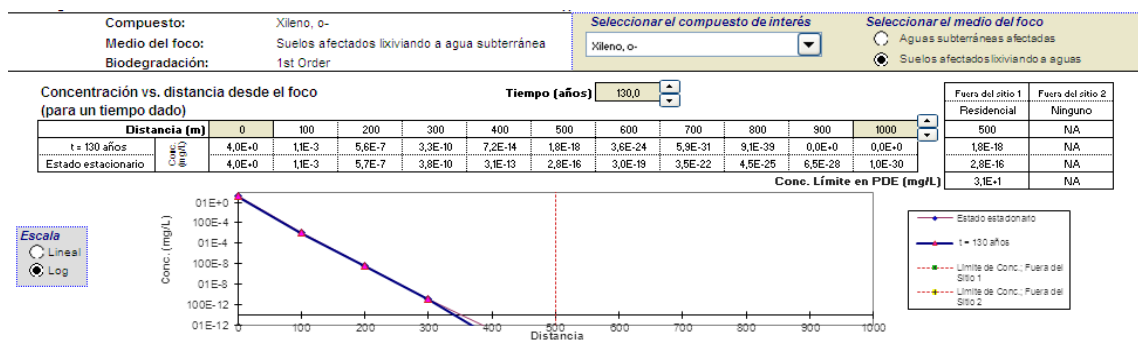
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



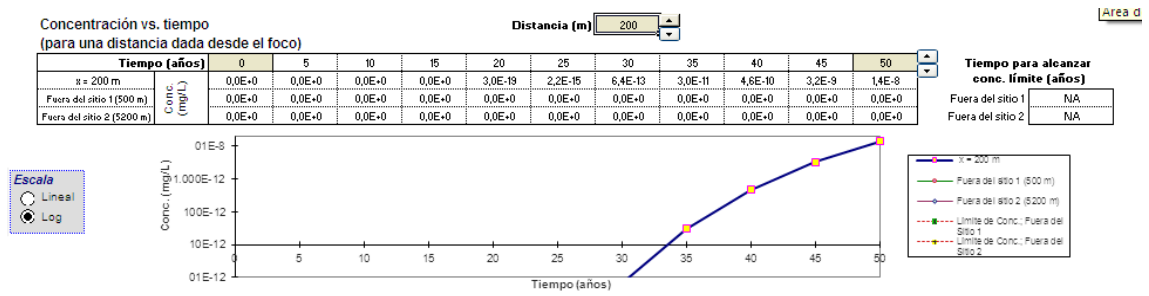
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).

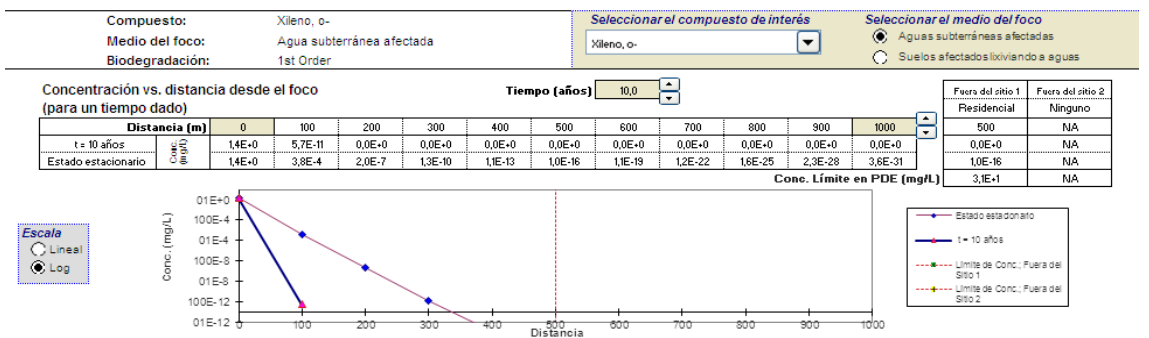


e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).

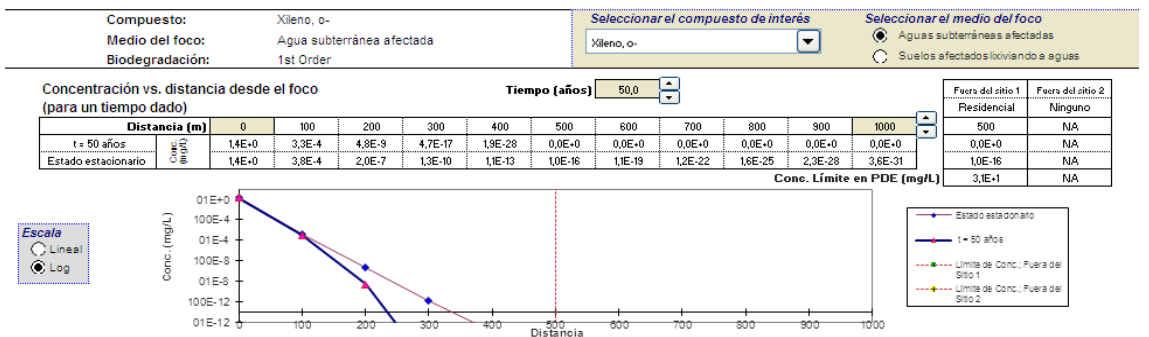


2. Aguas subterráneas afectadas.

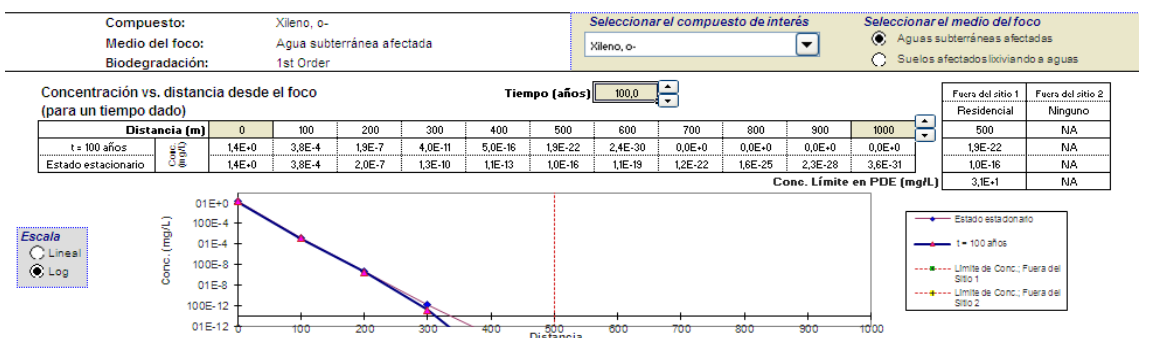
a. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 10 años).



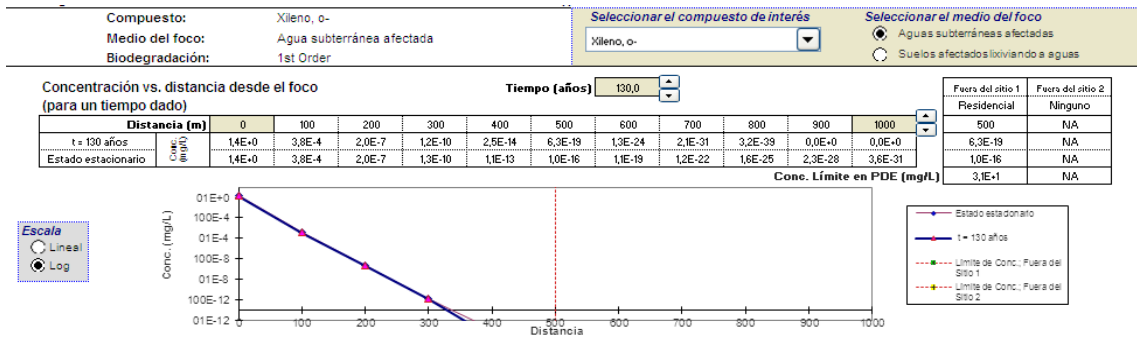
b. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 50 años).



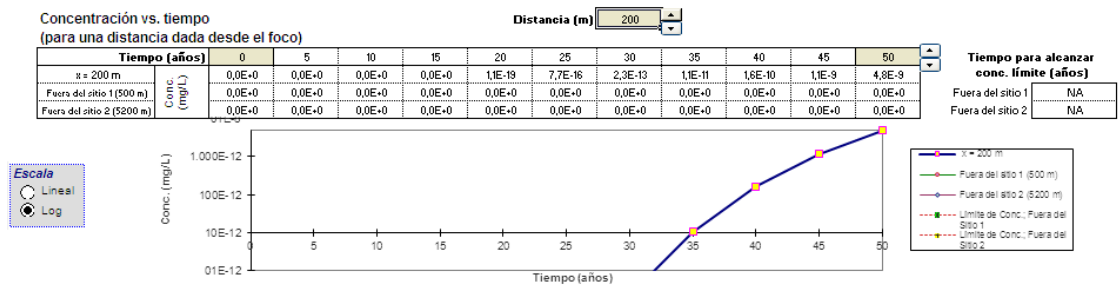
c. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 100 años).



d. Concentración vs. distancia desde el foco (para un tiempo de 130 años).



e. Concentración vs. tiempo (para una distancia de 200 metros desde el foco).



ANEXO 7: Línea base de riesgos (CASO B)

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)					
SUELOS EN SITIO (2 - 10 m): INTRUSIÓN DIRECTA DE VAPORES A EDIFICIOS	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural(L/kg)	3) Medio de exposición Aire interior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1) / (2)	4) Factor multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)	5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m) Comercial	En sitio (0 m) Comercial	En sitio (0 m) Comercial	En sitio (0 m) Comercial
	Compuestos de Interés				
Hexano, n-	1,1E+2	4,8E+1	2,2E+0	6,8E-1	1,5E+0
Naftaleno	2,9E+1	6,8E+5	4,3E-5	6,8E-1	3,0E-5
Octanona	4,4E+1	2,0E+5	2,2E-4	6,8E-1	1,5E-4
Tolueno	1,7E+1	3,1E+3	5,4E-3	6,8E-1	3,7E-3
Etil benceno	1,7E+1	4,4E+3	3,9E-3	6,8E-1	2,7E-3
Xileno, o-	2,4E+1	1,0E+6	2,3E-5	6,8E-1	1,6E-5
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	4,3E+4	3,1E-3	6,8E-1	2,1E-3
Benceno	8,5E+0	1,8E+3	4,7E-3	2,4E-1	1,1E-3
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	4,8E+3	2,5E-3	2,4E-1	6,1E-4

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año) NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)							
AGUAS SUBTERRÁNEAS: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	Concentración de la exposición						
	1) Foco del agua subt.	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de exposición Aire interior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1) / (2)		
	Conc. en agua subterránea (mg/L)	En sitio (0 m) Comercial	Fuera del sitio 1 (80 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (130 m) Comercial	En sitio (0 m) Comercial	Fuera del sitio 1 (80 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (130 m) Comercial
Compuestos de Interés							
Hexano, n-	6,5E+0	3,3E+0	2,4E+0	8,4E+0	2,0E+0	2,8E+0	7,8E-1
Naftaleno	1,8E+0	1,7E+4	1,2E+4	4,4E+4	1,0E-4	1,4E-4	4,1E-5
Octanona	1,4E+1	5,4E+4	3,8E+4	1,3E+5	2,6E-4	3,6E-4	1,0E-4
Tolueno	5,3E+0	1,1E+3	8,0E+2	2,8E+3	4,7E-3	6,7E-3	1,9E-3
Etil benceno	1,1E+0	1,1E+3	7,9E+2	2,8E+3	9,4E-4	1,3E-3	3,8E-4
Xileno, o-	1,4E+0	2,7E+5	1,9E+5	6,7E+5	5,3E-6	7,5E-6	2,1E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	2,2E+3	1,6E+3	5,6E+3	3,6E-3	5,0E-3	1,4E-3
Benceno	2,7E+0	1,3E+3	9,3E+2	3,3E+3	2,0E-3	2,9E-3	8,1E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	9,7E+3	6,9E+3	2,4E+4	3,8E-4	5,3E-4	1,5E-4

NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR						
AGUAS SUBTERRÁNEAS: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	4) Factor multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m) Comercial	Fuera del sitio 1 (80 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (130 m) Comercial	En sitio (0 m) Comercial	Fuera del sitio 1 (80 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (130 m) Comercial
	Compuestos de Interés					
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,3E+0	2,6E+0	5,3E-1
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,0E-5	1,4E-4	2,8E-5
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,8E-4	3,5E-4	7,0E-5
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	3,2E-3	6,4E-3	1,3E-3
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	6,5E-4	1,3E-3	2,6E-4
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	3,6E-6	7,2E-6	1,4E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,4E-3	4,8E-3	9,7E-4
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,0E-4	1,2E-3	2,0E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	9,3E-5	2,2E-4	3,7E-5

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

LIXIVIACIÓN DE SUELOS A AGUA SUBTERRÁNEA: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	Concentración de la exposición						
	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de la exposición		
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
Compuestos de Interés		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,1E+2	8,8E+1	6,2E+1	2,2E+2	1,2E+0	1,7E+0	4,9E-1
Naftaleno	2,9E+1	1,2E+6	8,5E+5	3,0E+6	2,5E-5	3,5E-5	9,8E-6
Octanona	4,4E+1	3,4E+5	2,4E+5	8,6E+5	1,3E-4	1,8E-4	5,2E-5
Tolueno	1,7E+1	7,2E+3	5,1E+3	1,8E+4	2,4E-3	3,3E-3	9,4E-4
Etil benceno	1,7E+1	1,0E+4	7,3E+3	2,6E+4	1,7E-3	2,4E-3	6,8E-4
Xileno, o-	2,4E+1	1,6E+6	1,1E+6	3,9E+6	1,5E-5	2,1E-5	6,0E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	9,2E+4	6,5E+4	2,3E+5	1,4E-3	2,0E-3	5,7E-4
Benceno	8,5E+0	4,1E+3	2,9E+3	1,0E+4	2,1E-3	2,9E-3	8,3E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	7,7E+3	5,5E+3	1,9E+4	1,5E-3	2,2E-3	6,1E-4

NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

LIXIVIACIÓN DE SUELOS A AGUA SUBTERRÁNEA: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés						
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,4E-1	1,7E+0	3,3E-1
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,7E-5	3,3E-5	6,7E-6
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,9E-5	1,8E-4	3,6E-5
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,6E-3	3,2E-3	6,5E-4
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,2E-3	2,3E-3	4,6E-4
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,0E-5	2,0E-5	4,1E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	9,7E-4	1,9E-3	3,9E-4
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,1E-4	1,2E-3	2,0E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,7E-4	8,9E-4	1,5E-4

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

EXPOSICIÓN MÁXIMA POR RUTA (mg/m³)

(Máxima concentración promedio de exposición para las rutas de suelo y/o agua subterránea.)

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,5E+0	2,6E+0	5,3E-1
Naftaleno	7,0E-5	1,4E-4	2,8E-5
Octanona	1,8E-4	3,5E-4	7,0E-5
Tolueno	3,7E-3	6,4E-3	1,3E-3
Etil benceno	2,7E-3	2,3E-3	4,6E-4
Xileno, o-	1,6E-5	2,0E-5	4,1E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	4,8E-3	9,7E-4
Benceno	1,1E-3	1,2E-3	2,0E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	6,1E-4	8,9E-4	1,5E-4

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERIGENO

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición a compuestos cancerígenos (mg/m ³)			(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI (2) x (3) x 1000		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	FALSO	-	-	-	-			
Naftaleno	FALSO	-	-	-	-			
Octanona	FALSO	-	-	-	-			
Tolueno	FALSO	-	-	-	-			
Etil benceno	FALSO	-	-	-	-			
Xileno, o-	FALSO	-	-	-	-			
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO	-	-	-	-			
Benceno	VERDADERO	1,1E-3	1,2E-3	2,0E-4	2,2E-6	2,5E-6	2,7E-6	4,5E-7
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO	6,1E-4	8,9E-4	1,5E-4	2,6E-7	1,6E-7	2,3E-7	3,9E-8

Riesgo acumulativo de cáncer =

2,7E-6	2,9E-6	4,9E-7
--------	--------	--------

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)			(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,5E+0	2,6E+0	5,3E-1	6,7E-1	2,3E+0	3,9E+0	7,9E-1
Naftaleno	7,0E-5	1,4E-4	2,8E-5	3,0E-3	2,3E-2	4,6E-2	9,3E-3
Octanona	1,8E-4	3,5E-4	7,0E-5	1,8E+1	9,8E-6	1,9E-5	3,9E-6
Tolueno	3,7E-3	6,4E-3	1,3E-3	4,1E+0	9,1E-4	1,6E-3	3,1E-4
Etil benceno	2,7E-3	2,3E-3	4,6E-4	1,9E+0	1,4E-3	1,2E-3	2,4E-4
Xileno, o-	1,6E-5	2,0E-5	4,1E-6	6,1E-1	2,5E-5	3,3E-5	6,7E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	4,8E-3	9,7E-4	7,0E-3	3,5E-1	6,9E-1	1,4E-1
Benceno	3,2E-3	2,8E-3	5,7E-4	2,8E-1	1,1E-2	1,0E-2	2,0E-3
Metil t-butil éter (MTBE)	1,7E-3	2,1E-3	4,2E-4	3,0E+0	5,7E-4	6,9E-4	1,4E-4

Índice de peligro acumulativo =

2,7E+0	4,7E+0	9,4E-1
--------	--------	--------

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR (Marcado si la ruta está completa)

SUELOS SUPERFICIALES : INHALACIÓN DE VAPORES Y PARTÍCULAS	1) Foco del suelo Conc. en suelo (mg/kg)	2) Factor de atenuación natural (m³/L)				3) Medio de exposición Aire Exterior: Conc. en PDE (mg/m³) (1) / (2)			
		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés									
Hexano, n-	1,1E+2								
Naftaleno	2,9E+1								
Octanona	4,4E+1								
Tolueno	1,7E+1								
Etil benceno	1,7E+1								
Xileno, o-	2,4E+1								
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2								
Benceno	8,5E+0								
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1								

NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

SUELOS SUPERFICIALES : INHALACIÓN DE VAPORES Y PARTÍCULAS (cont.)	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)				5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m³) (3) X (4)			
	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés								
Hexano, n-								
Naftaleno								
Octanona								
Tolueno								
Etil benceno								
Xileno, o-								
Trimetilbenceno, 1,2,4-								
Benceno								
Metil t-butil éter (MTBE)								

NOTE: AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR (Marcado si la ruta está completa)

SUBSUELOS (2 - 10 m): INHALACIÓN DE VAPORES	1) Foco del suelo Conc. en suelo (mg/kg)	2) Factor de atenuación natural (m³/L)			3) Medio de la exposición Aire exterior: Conc. en PDE (mg/m³) (1) / (2)		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés							
Hexano, n-	1,1E+2	1,3E+4	1,3E+4	1,3E+4	8,0E-3	8,0E-3	8,0E-3
Naftaleno	2,9E+1	1,4E+7	1,4E+7	1,4E+7	2,1E-6	2,1E-6	2,1E-6
Octanona	4,4E+1	4,1E+6	4,1E+6	4,1E+6	1,1E-5	1,1E-5	1,1E-5
Tolueno	1,7E+1	6,7E+4	6,7E+4	6,7E+4	2,5E-4	2,5E-4	2,5E-4
Etil benceno	1,7E+1	9,5E+4	9,5E+4	9,5E+4	1,8E-4	1,8E-4	1,8E-4
Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+7	1,4E+7	1,4E+7	1,7E-6	1,7E-6	1,7E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	9,1E+5	9,1E+5	9,1E+5	1,4E-4	1,4E-4	1,4E-4
Benceno	8,5E+0	3,9E+4	3,9E+4	3,9E+4	2,2E-4	2,2E-4	2,2E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	8,6E+4	8,6E+4	8,6E+4	1,4E-4	1,4E-4	1,4E-4

NOTE: NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

SUBSUELOS (2 - 10 m):

IIHALACIÓN DE VAPORES (cont)

	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés						
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	5,5E-3	7,7E-3	5,5E-3
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,4E-6	2,0E-6	1,4E-6
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,5E-6	1,0E-5	7,5E-6
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,7E-4	2,4E-4	1,7E-4
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,3E-4	1,8E-4	1,3E-4
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,2E-6	1,6E-6	1,2E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	9,9E-5	1,4E-4	9,9E-5
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,3E-5	8,9E-5	5,3E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,4E-5	5,6E-5	3,4E-5

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

AGUA SUBTERRÁNEA

IIHALACIÓN DE VAPORES

Concentración de la exposición

	3) Medio de la exposición Aire exterior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1) / (2)						
	1) Foco del agua subter.	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)					
	Concentración en Agua Subterránea (mg/L)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés							
Hexano, n-	6,5E+0	5,3E+2	1,0E+3	2,3E+3	1,2E-2	6,5E-3	2,8E-3
Naftaleno	1,8E+0	1,7E+6	3,3E+6	7,6E+6	1,0E-6	5,4E-7	2,3E-7
Octanona	1,4E+1	4,9E+6	9,2E+6	2,1E+7	2,9E-6	1,5E-6	6,5E-7
Tolueno	5,3E+0	1,6E+5	3,0E+5	7,0E+5	3,4E-5	1,8E-5	7,6E-6
Etil benceno	1,1E+0	1,6E+5	3,0E+5	7,0E+5	6,6E-6	3,5E-6	1,5E-6
Xileno, o-	1,4E+0	1,7E+7	3,3E+7	7,6E+7	8,2E-8	4,3E-8	1,9E-8
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	3,0E+5	5,6E+5	1,3E+6	2,7E-5	1,4E-5	6,1E-6
Benceno	2,7E+0	1,8E+5	3,4E+5	7,9E+5	1,5E-5	7,8E-6	3,4E-6
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	8,0E+5	1,5E+6	3,5E+6	4,6E-6	2,4E-6	1,1E-6

NOTE: FAN = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

AGUA SUBTERRÁNEA

IIHALACIÓN DE VAPORES (cont)

	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés						
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,4E-3	6,2E-3	1,9E-3
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,0E-7	5,2E-7	1,6E-7
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,0E-6	1,4E-6	4,5E-7
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,3E-5	1,7E-5	5,2E-6
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	4,5E-6	3,3E-6	1,0E-6
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	5,6E-8	4,2E-8	1,3E-8
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,8E-5	1,4E-5	4,2E-6
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,6E-6	3,2E-6	8,3E-7
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	1,1E-6	1,0E-6	2,6E-7

TP = Tiempo promedio (días) FE = Frecuencia de exposición (días/año) DE = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

EXPOSICIÓN MÁXIMA POR RUTA (mg/m³)
(Máxima concentración promedio de exposición
para las rutas de suelo y/o agua subterránea.)

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Hexano, n-	8,4E-3		7,7E-3	5,5E-3
Naftaleno	1,4E-6		2,0E-6	1,4E-6
Octanona	7,5E-6		1,0E-5	7,5E-6
Tolueno	1,7E-4		2,4E-4	1,7E-4
Etil benceno	1,3E-4		1,8E-4	1,3E-4
Xileno, o-	1,2E-6		1,6E-6	1,2E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	9,9E-5		1,4E-4	9,9E-5
Benceno	5,3E-5		8,9E-5	5,3E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	3,4E-5		5,6E-5	3,4E-5

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición compuestos cancerígenos (mg/m ³)				(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo por cada CDI (2) x (3) x 1000			
		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Hexano, n-	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naftaleno	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Octanona	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tolueno	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etil benceno	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xileno, o-	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benceno	#####	5,3E-5		8,9E-5	5,3E-5	2,2E-6	1,2E-7		2,0E-7	1,2E-7
Metil t-butil éter (MTBE)	#####	3,4E-5		5,6E-5	3,4E-5	2,6E-7	8,7E-9		1,5E-8	8,7E-9

Riesgo acumulativo de cáncer = **1,3E-7** **2,1E-7** **1,3E-7**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

EFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)				(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)			
	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Hexano, n-	8,4E-3		7,7E-3	5,5E-3	6,7E-1	1,3E-2		1,2E-2	8,2E-3
Naftaleno	1,4E-6		2,0E-6	1,4E-6	3,0E-3	4,7E-4		6,6E-4	4,7E-4
Octanona	7,5E-6		1,0E-5	7,5E-6	1,8E+1	4,2E-7		5,8E-7	4,2E-7
Tolueno	1,7E-4		2,4E-4	1,7E-4	4,1E+0	4,3E-5		6,0E-5	4,3E-5
Etil benceno	1,3E-4		1,8E-4	1,3E-4	1,9E+0	6,6E-5		9,3E-5	6,6E-5
Xileno, o-	1,2E-6		1,6E-6	1,2E-6	6,1E-1	1,9E-6		2,6E-6	1,9E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	9,9E-5		1,4E-4	9,9E-5	7,0E-3	1,4E-2		2,0E-2	1,4E-2
Benceno	1,5E-4		2,1E-4	1,5E-4	2,8E-1	5,3E-4		7,5E-4	5,3E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	9,4E-5		1,3E-4	9,4E-5	3,0E+0	3,1E-5		4,4E-5	3,1E-5

Índice de peligro acumulativo = **2,8E-2** **3,3E-2** **2,3E-2**

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la vía está completa)

LIXIVIACIÓN DE SUELOS (2 - 10 m) A
AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (L/kg)			3) Medio de exposición Agua subterr.: Conc. en PDE (mg/L) (1)/(2)		
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-	1,1E+2		2,9E+2			3,7E-1	
Naftaleno	2,9E+1		7,6E+2			3,9E-2	
Octanona	4,4E+1		7,0E+1			6,3E-1	
Tolueno	1,7E+1		7,1E+1			2,4E-1	
Etil benceno	1,7E+1		1,0E+2			1,7E-1	
Xileno, o-	2,4E+1		6,5E+1			3,6E-1	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2		4,6E+2			2,9E-1	
Benceno	8,5E+0		3,5E+1			2,5E-1	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1		8,8E+0			1,3E+0	

NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

LIXIVIACIÓN DE SUELOS (2 - 10 m) A
AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	4) Factor multiplicador de la exposición (IRxEFxED)/(BWxAT) (L/kg-d)			5) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (3) x (4)		
	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-		6,4E-2			2,3E-2	
Naftaleno		6,4E-2			2,5E-3	
Octanona		6,4E-2			4,0E-2	
Tolueno		6,4E-2			1,5E-2	
Etil benceno		6,4E-2			1,1E-2	
Xileno, o-		6,4E-2			2,3E-2	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		6,4E-2			1,8E-2	
Benceno		1,5E-2			3,7E-3	
Metil t-butil éter (MTBE)		1,5E-2			2,0E-2	

AT = Tiempo promedio (días) ED = Duración de la exposición (años) IR = Tasa de ingestión (mg/día)
BW = Peso corporal (kg) EF = Frecuencia de la exposición (días/año)

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)

AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	1) Foco del agua subterr.	2) Factor de atenuación natural (-)			3) Medio de exposición Agua subterr.: Conc. en PDE (mg/L) (1)/(2)		
	Conc. en agua subterr. (mg/L)	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-	6,5E+0		1,1E+1			5,9E-1	
Naftaleno	1,8E+0		1,1E+1			1,6E-1	
Octanona	1,4E+1		1,1E+1			1,3E+0	
Tolueno	5,3E+0		1,1E+1			4,8E-1	
Etil benceno	1,1E+0		1,1E+1			9,5E-2	
Xileno, o-	1,4E+0		1,1E+1			1,3E-1	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0		1,1E+1			7,2E-1	
Benceno	2,7E+0		1,1E+1			2,4E-1	
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0		1,1E+1			3,3E-1	

FAN = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN (cont)

Compuestos de Interés	4) Factor multiplicador de la exposición (IRxEFxED)/(BWxAT) (L/kg/d)			5) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (3) x (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
	Ninguno	Residencial	Ninguno	Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-		6,4E-2			3,7E-2	
Naftaleno		6,4E-2			1,0E-2	
Octanona		6,4E-2			8,0E-2	
Tolueno		6,4E-2			3,1E-2	
Etil benceno		6,4E-2			6,1E-3	
Xileno, o-		6,4E-2			8,2E-3	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		6,4E-2			4,6E-2	
Benceno		1,5E-2			3,6E-3	
Metil t-butil éter (MTBE)		1,5E-2			4,9E-3	

AT = Tiempo promedio (días)	ED = Duración de la exposición (años)	IR = Tasa de ingestión (mg/día)
BW = Peso corporal (kg)	EF = Frecuencia de la exposición (días/año)	

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

INGESTA MÁXIMA POR LA RUTA (mg/kg/día)

(Ingesta máxima entre las rutas activas de lixiviación del suelo y/o aguas subterráneas)

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
	Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-		3,7E-2	
Naftaleno		1,0E-2	
Octanona		8,0E-2	
Tolueno		3,1E-2	
Etil benceno		1,1E-2	
Xileno, o-		2,3E-2	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		4,6E-2	
Benceno		3,7E-3	
Metil t-butil éter (MTBE)		2,0E-2	

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

■ (Marcado si la ruta está completa)

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	RIESGO CANCERÍGENO						
		(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)			(3) Factor de pendiente oral (mg/kg-day) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI (2) x (3)		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
		Ninguno	Residencial	Ninguno		Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-	FALSO				-			
Naftaleno	FALSO				-			
Octanona	FALSO				-			
Tolueno	FALSO				-			
Etil benceno	FALSO				-			
Xileno, o-	FALSO				-			
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO				-			
Benceno	VERDADERO		3,7E-3		1,5E-2		5,5E-5	
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO		2,0E-2		1,8E-3		3,6E-5	

Riesgo acumulativo de cáncer =

9,1E-5

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)

Compuestos de Interés	EFECTOS TÓXICOS						
	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)			(6) Dosis de referencia oral (mg/kg/día)	(7) Cociente de peligro por cada CDI (5) / (6)		
	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno		En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-		3,7E-2		6,0E-2		6,2E-1	
Naftaleno		1,0E-2		2,0E-2		5,1E-1	
Octanona		8,0E-2		6,0E-2		1,3E+0	
Tolueno		3,1E-2		8,0E-2		3,8E-1	
Etil benceno		1,1E-2		1,0E-1		1,1E-1	
Xileno, o-		2,3E-2		2,0E+0		1,2E-2	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		4,6E-2		5,0E-2		9,2E-1	
Benceno		1,6E-2		4,0E-3		3,9E+0	
Metil t-butil éter (MTBE)		8,6E-2		1,0E-2		8,6E+0	

Índice de peligro acumulativo =

1,6E+1

RUTAS DE EXPOSICIÓN A SUELO

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

1 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS

■ (Marcado si la ruta está completa)

SUELO SUPERFICIAL: EN SITIO ingestión,
CONTACTO DERMICO

Compuestos de Interés	1) Foco del suelo	2) Factor multiplicador de la exposición		3) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (1) x (2)	
	Conc. en suelo superficial (mg/kg)	Residencial	Obrero de construcción	Residencial	Obrero de construcción
Hexano, n-	1,1E+2	1,3E-5		1,4E-3	-
Naftaleno	2,9E+1	2,2E-5		6,5E-4	-
Octanona	4,4E+1	1,3E-5		5,7E-4	-
Tolueno	1,7E+1	1,3E-5		2,2E-4	-
Etil benceno	1,7E+1	1,3E-5		2,2E-4	-
Xileno, o-	2,4E+1	1,3E-5		3,0E-4	-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	1,3E-5		1,7E-3	-
Benceno	8,5E+0	2,3E-6		1,9E-5	-
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	2,3E-6		2,7E-5	-

RAF = Factor de absorción relativa (-)

AT = Tiempo promedio (días)

ED = Duración de la exposición (años)

IR = Tasa de ingesta del suelo (mg/día)

M = Factor de adherencia (mg/cm²)

BW = Peso corporal (kg)

EF = Frecuencia de la exposición (días/año)

SA = Área de exposición en la piel (cm²/día)

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

2 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS ■ (Marcado si la ruta está completa)

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)				(3) Factor de pendiente (mg/kg/día) ⁻¹		(4) Riesgo de cada CDI	
		(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	(a) oral	(b) dérmico**	(2a)x(3a) + (2b)x(3b)	(2c)x(3a) + (2d)x(3b)
		Residencial		Obrero de construcción				Residencial	Obrero de construcción
Hexano, n-	FALSO					-	-		-
Naftaleno	FALSO					-	-		-
Octanona	FALSO					-	-		-
Tolueno	FALSO					-	-		-
Etil benceno	FALSO					-	-		-
Xileno, o-	FALSO					-	-		-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO					-	-		-
Benceno	VERDADERO	1,9E-5	0,0E+0			1,5E-2	1,5E-2	2,9E-7	-
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO	2,7E-5	0,0E+0			1,8E-3	1,8E-3	4,8E-8	-

** Si no hay factor de pendiente para contacto dérmico, se usa factor de pendiente para exposición oral.

Riesgo acumulativo de cáncer = **3,4E-7**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

3 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS ■ (Marcado si la ruta está completa)

Compuestos de Interés	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)				(6) Dosis de referencia (mg/kg-d)		(7) Cociente de peligro por cada CDI	
	(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	(a) oral	(b) dérmico**	(5a)/(6a) + (5b)/(6b)	(5c)/(6a) + (5d)/(6b)
	Residencial		Obrero de construcción				Residencial	Obrero de construcción
Hexano, n-	1,4E-3	0,0E+0			6,0E-2	6,0E-2	2,3E-2	
Naftaleno	3,8E-4	2,8E-4			2,0E-2	2,0E-2	3,3E-2	
Octanona	5,7E-4	0,0E+0			6,0E-2	6,0E-2	9,5E-3	
Tolueno	2,2E-4	0,0E+0			8,0E-2	8,0E-2	2,7E-3	
Etil benceno	2,2E-4	0,0E+0			1,0E-1	1,0E-1	2,2E-3	
Xileno, o-	3,0E-4	0,0E+0			2,0E+0	2,0E+0	1,5E-4	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,7E-3	0,0E+0			5,0E-2	5,0E-2	3,4E-2	
Benceno	1,1E-4	0,0E+0			4,0E-3	4,0E-3	2,7E-2	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,5E-4	0,0E+0			1,0E-2	1,0E-2	1,5E-2	

** Si no hay dosis de referencia dérmica, se usa la dosis de referencia oral.

Índice de peligro acumulativo = **1,5E-1**

ANEXO 8: Línea base de riesgos (CASO B)

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)									
SUELOS EN SITIO (2 - 10 m): INTRUSIÓN DIRECTA DE VAPORES A EDIFICIOS									
Compuestos de Interés	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural(L/kg)		3) Medio de exposición		4) Factor multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)		5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)	
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m)	Comercial	Aire interior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1)/(2)	En sitio (0 m)	Comercial	En sitio (0 m)	Comercial	En sitio (0 m)
Hexano, n-	1,1E+2	4,8E+1		2,2E+0		6,8E-1		1,5E+0	
Naftaleno	2,9E+1	6,8E+5		4,3E-5		6,8E-1		3,0E-5	
Octanona	4,4E+1	2,0E+5		2,2E-4		6,8E-1		1,5E-4	
Tolueno	1,7E+1	3,1E+3		5,4E-3		6,8E-1		3,7E-3	
Etil benceno	1,7E+1	4,4E+3		3,9E-3		6,8E-1		2,7E-3	
Xileno, o-	2,4E+1	1,0E+6		2,3E-5		6,8E-1		1,6E-5	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	4,3E+4		3,1E-3		6,8E-1		2,1E-3	
Benceno	8,5E+0	1,8E+3		4,7E-3		2,4E-1		1,1E-3	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	4,8E+3		2,5E-3		2,4E-1		6,1E-4	

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año) NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)								
AGUAS SUBTERRÁNEAS: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS								
Compuestos de Interés	1) Foco del agua subt.	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de exposición			
		Conc. en agua subterránea (mg/L)	Aire interior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1)/(2)			Aire interior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1)/(2)		
			En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
Hexano, n-	6,5E+0	3,3E+0	4,4E+58	1,1E+85	2,0E+0	1,5E-58	5,9E-85	
Naftaleno	1,8E+0	1,7E+4	4,2E+21	2,2E+30	1,0E-4	4,2E-22	8,0E-31	
Octanona	1,4E+1	5,4E+4	1,1E+37	1,9E+52	2,6E-4	1,2E-36	7,2E-52	
Tolueno	5,3E+0	1,1E+3	6,7E+20	5,3E+29	4,7E-3	7,9E-21	1,0E-29	
Etil benceno	1,1E+0	1,1E+3	2,7E+8	6,3E+11	9,4E-4	3,9E-9	1,7E-12	
Xileno, o-	1,4E+0	2,7E+5	1,7E+8	2,4E+10	5,3E-6	8,2E-9	5,8E-11	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	2,2E+3	2,0E+35	2,3E+50	3,6E-3	4,1E-35	3,5E-50	
Benceno	2,7E+0	1,3E+3	1,2E+4	1,8E+5	2,0E-3	2,3E-4	1,5E-5	
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	9,7E+3	8,4E+4	1,3E+6	3,8E-4	4,4E-5	2,9E-6	

NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR						
AGUAS SUBTERRÁNEAS: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS						
Compuestos de Interés	4) Factor multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,3E+0	1,4E-58	4,0E-85
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,0E-5	4,1E-22	5,5E-31
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,8E-4	1,2E-36	4,9E-52
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	3,2E-3	7,6E-21	6,9E-30
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	6,5E-4	3,8E-9	1,1E-12
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	3,6E-6	7,9E-9	4,0E-11
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,4E-3	3,9E-35	2,4E-50
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,0E-4	9,5E-5	3,7E-6
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	9,3E-5	1,8E-5	7,0E-7

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

LIXIVIACIÓN DE SUELOS A AGUA SUBTERRÁNEA: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	Concentración de la exposición						
	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de la exposición		
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
Compuestos de Interés		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,1E+2	8,8E+1	1,2E+60	2,9E+86	1,2E+0	9,2E-59	3,7E-85
Naftaleno	2,9E+1	1,2E+6	2,9E+23	1,5E+32	2,5E-5	1,0E-22	1,9E-31
Octanona	4,4E+1	3,4E+5	7,2E+37	1,2E+53	1,3E-4	6,2E-37	3,6E-52
Tolueno	1,7E+1	7,2E+3	4,3E+21	3,4E+30	2,4E-3	4,0E-21	5,0E-30
Etil benceno	1,7E+1	1,0E+4	2,5E+9	5,8E+12	1,7E-3	7,1E-9	3,0E-12
Xileno, o-	2,4E+1	1,6E+6	1,0E+9	1,4E+11	1,5E-5	2,3E-8	1,7E-10
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	9,2E+4	8,1E+36	9,4E+51	1,4E-3	1,6E-35	1,4E-50
Benceno	8,5E+0	4,1E+3	3,6E+4	5,5E+5	2,1E-3	2,4E-4	1,6E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	7,7E+3	6,7E+4	1,0E+6	1,5E-3	1,8E-4	1,2E-5

NAF = factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

LIXIVIACIÓN DE SUELOS A AGUA SUBTERRÁNEA: INTRUSIÓN DE VAPORES A EDIFICIOS	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés						
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,4E-1	8,8E-59	2,5E-85
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,7E-5	9,8E-23	1,3E-31
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,9E-5	5,9E-37	2,5E-52
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,6E-3	3,8E-21	3,4E-30
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,2E-3	6,8E-9	2,1E-12
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,0E-5	2,2E-8	1,1E-10
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	9,7E-4	1,6E-35	9,6E-51
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,1E-4	9,8E-5	3,8E-6
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,7E-4	7,2E-5	2,8E-6

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR

EXPOSICIÓN MÁXIMA POR RUTA (mg/m³)

(Máxima concentración promedio de exposición para las rutas de suelo y/o agua subterránea.)

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,5E+0	1,4E-58	4,0E-85
Naftaleno	7,0E-5	4,1E-22	5,5E-31
Octanona	1,8E-4	1,2E-36	4,9E-52
Tolueno	3,7E-3	7,6E-21	6,9E-30
Etil benceno	2,7E-3	6,8E-9	2,1E-12
Xileno, o-	1,6E-5	2,2E-8	1,1E-10
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	3,9E-35	2,4E-50
Benceno	1,1E-3	9,8E-5	3,8E-6
Metil t-butil éter (MTBE)	6,1E-4	7,2E-5	2,8E-6

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERIGENO

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición a compuestos cancerígenos (mg/m ³)			(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI (2) x (3) x 1000		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	FALSO	-	-	-	-			
Naftaleno	FALSO	-	-	-	-			
Octanona	FALSO	-	-	-	-			
Tolueno	FALSO	-	-	-	-			
Etil benceno	FALSO	-	-	-	-			
Xileno, o-	FALSO	-	-	-	-			
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO	-	-	-	-			
Benceno	VERDADERO	1,1E-3	9,8E-5	3,8E-6	2,2E-6	2,5E-6	2,1E-7	8,3E-9
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO	6,1E-4	7,2E-5	2,8E-6	2,6E-7	1,6E-7	1,9E-8	7,4E-10

Riesgo acumulativo de cáncer = **2,7E-6 2,3E-7 9,1E-9**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE INTERIOR ■ (Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)			(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial		Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	1,5E+0	1,4E-58	4,0E-85	6,7E-1	2,3E+0	2,1E-58	6,0E-85
Naftaleno	7,0E-5	4,1E-22	5,5E-31	3,0E-3	2,3E-2	1,4E-19	1,8E-28
Octanona	1,8E-4	1,2E-36	4,9E-52	1,8E+1	9,8E-6	6,5E-38	2,7E-53
Tolueno	3,7E-3	7,6E-21	6,9E-30	4,1E+0	9,1E-4	1,9E-21	1,7E-30
Etil benceno	2,7E-3	6,8E-9	2,1E-12	1,9E+0	1,4E-3	3,6E-9	1,1E-12
Xileno, o-	1,6E-5	2,2E-8	1,1E-10	6,1E-1	2,5E-5	3,6E-8	1,9E-10
Trimetilbenceno, 1,2,4-	2,4E-3	3,9E-35	2,4E-50	7,0E-3	3,5E-1	5,6E-33	3,4E-48
Benceno	3,2E-3	2,3E-4	1,1E-5	2,8E-1	1,1E-2	8,1E-4	3,8E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	1,7E-3	1,7E-4	7,9E-6	3,0E+0	5,7E-4	5,6E-5	2,6E-6

Índice de peligro acumulativo = **2,7E+0 8,7E-4 4,1E-5**

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR <input type="checkbox"/> (Marcado si la ruta está completa)									
SUELOS SUPERFICIALES : INHALACIÓN DE VAPORES Y PARTÍCULAS	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)				3) Medio de exposición Aire Exterior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1) / (2)			
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés									
Hexano, n-	1,1E+2								
Naftaleno	2,9E+1								
Octanona	4,4E+1								
Tolueno	1,7E+1								
Etil benceno	1,7E+1								
Xileno, o-	2,4E+1								
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2								
Benceno	8,5E+0								
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1								

NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR								
SUELOS SUPERFICIALES : INHALACIÓN DE VAPORES Y PARTÍCULAS (cont.)	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)				5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)			
	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Compuestos de Interés								
Hexano, n-								
Naftaleno								
Octanona								
Tolueno								
Etil benceno								
Xileno, o-								
Trimetilbenceno, 1,2,4-								
Benceno								
Metil t-butil éter (MTBE)								

NOTE: AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR <input checked="" type="checkbox"/> (Marcado si la ruta está completa)									
SUBSUELOS (2 - 10 m): INHALACIÓN DE VAPORES	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de la exposición Aire exterior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1) / (2)				
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial	
Compuestos de Interés									
Hexano, n-	1,1E+2	1,3E+4	1,3E+4	1,3E+4	8,0E-3	8,0E-3	8,0E-3		
Naftaleno	2,9E+1	1,4E+7	1,4E+7	1,4E+7	2,1E-6	2,1E-6	2,1E-6		
Octanona	4,4E+1	4,1E+6	4,1E+6	4,1E+6	1,1E-5	1,1E-5	1,1E-5		
Tolueno	1,7E+1	6,7E+4	6,7E+4	6,7E+4	2,5E-4	2,5E-4	2,5E-4		
Etil benceno	1,7E+1	9,5E+4	9,5E+4	9,5E+4	1,8E-4	1,8E-4	1,8E-4		
Xileno, o-	2,4E+1	1,4E+7	1,4E+7	1,4E+7	1,7E-6	1,7E-6	1,7E-6		
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	9,1E+5	9,1E+5	9,1E+5	1,4E-4	1,4E-4	1,4E-4		
Benceno	8,5E+0	3,9E+4	3,9E+4	3,9E+4	2,2E-4	2,2E-4	2,2E-4		
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	8,6E+4	8,6E+4	8,6E+4	1,4E-4	1,4E-4	1,4E-4		

NOTE: NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

SUBSUELOS (2 - 10 m):

INHALACIÓN DE VAPORES (cont)

Compuestos de Interés	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	5,5E-3	7,7E-3	5,5E-3
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,4E-6	2,0E-6	1,4E-6
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,5E-6	1,0E-5	7,5E-6
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,7E-4	2,4E-4	1,7E-4
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,3E-4	1,8E-4	1,3E-4
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,2E-6	1,6E-6	1,2E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	9,9E-5	1,4E-4	9,9E-5
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	5,3E-5	8,9E-5	5,3E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,4E-5	5,6E-5	3,4E-5

AT = Tiempo promedio (días) EF = Frecuencia de exposición (días/año) ED = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

AGUA SUBTERRÁNEA

INHALACIÓN DE VAPORES

Concentración de la exposición

Compuestos de Interés	1) Foco del agua subterr. Concentración en Agua Subterránea (mg/L)	2) Factor de atenuación natural (m ³ /L)			3) Medio de la exposición Aire exterior: Conc. en PDE (mg/m ³) (1)/(2)		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	6,5E+0	5,3E+2	1,0E+3	2,3E+3	1,2E-2	6,5E-3	2,8E-3
Naftaleno	1,8E+0	1,7E+6	3,3E+6	7,6E+6	1,0E-6	5,4E-7	2,3E-7
Octanona	1,4E+1	4,9E+6	9,2E+6	2,1E+7	2,9E-6	1,5E-6	6,5E-7
Tolueno	5,3E+0	1,6E+5	3,0E+5	7,0E+5	3,4E-5	1,8E-5	7,6E-6
Etil benceno	1,1E+0	1,6E+5	3,0E+5	7,0E+5	6,6E-6	3,5E-6	1,5E-6
Xileno, o-	1,4E+0	1,7E+7	3,3E+7	7,6E+7	8,2E-8	4,3E-8	1,9E-8
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0	3,0E+5	5,6E+5	1,3E+6	2,7E-5	1,4E-5	6,1E-6
Benceno	2,7E+0	1,8E+5	3,4E+5	7,9E+5	1,5E-5	7,8E-6	3,4E-6
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0	8,0E+5	1,5E+6	3,5E+6	4,6E-6	2,4E-6	1,1E-6

NOTE: FAN = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

AGUA SUBTERRÁNEA

INHALACIÓN DE VAPORES (cont)

Compuestos de Interés	4) Factor Multiplicador de la exposición (EFxED)/(ATx365) (-)			5) Concentración promedio de exposición por inhalación (mg/m ³) (3) X (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Residencial	Comercial	Comercial	Residencial	Comercial
Hexano, n-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	8,4E-3	6,2E-3	1,9E-3
Naftaleno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	7,0E-7	5,2E-7	1,6E-7
Octanona	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,0E-6	1,4E-6	4,5E-7
Tolueno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	2,3E-5	1,7E-5	5,2E-6
Etil benceno	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	4,5E-6	3,3E-6	1,0E-6
Xileno, o-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	5,6E-8	4,2E-8	1,3E-8
Trimetilbenceno, 1,2,4-	6,8E-1	9,6E-1	6,8E-1	1,8E-5	1,4E-5	4,2E-6
Benceno	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	3,6E-6	3,2E-6	8,3E-7
Metil t-butil éter (MTBE)	2,4E-1	4,1E-1	2,4E-1	1,1E-6	1,0E-6	2,6E-7

TP = Tiempo promedio (días) FE = Frecuencia de exposición (días/año) DE = Duración de la exposición (año)

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

EXPOSICIÓN MÁXIMA POR RUTA (mg/m³)
(Máxima concentración promedio de exposición
para las rutas de suelo y/o agua subterránea.)

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
	Hexano, n-	8,4E-3		7,7E-3
Naftaleno	1,4E-6		2,0E-6	1,4E-6
Octanona	7,5E-6		1,0E-5	7,5E-6
Tolueno	1,7E-4		2,4E-4	1,7E-4
Etil benceno	1,3E-4		1,8E-4	1,3E-4
Xileno, o-	1,2E-6		1,6E-6	1,2E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	9,9E-5		1,4E-4	9,9E-5
Benceno	5,3E-5		8,9E-5	5,3E-5
Metil t-butil éter (MTBE)	3,4E-5		5,6E-5	3,4E-5

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición compuestos cancerígenos (mg/m ³)				(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo por cada CDI (2) x (3) x 1000			
		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Hexano, n-	FALSO	-	-	-	-	-				
Naftaleno	FALSO	-	-	-	-	-				
Octanona	FALSO	-	-	-	-	-				
Tolueno	FALSO	-	-	-	-	-				
Etil benceno	FALSO	-	-	-	-	-				
Xileno, o-	FALSO	-	-	-	-	-				
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO	-	-	-	-	-				
Benceno	#####	5,3E-5		8,9E-5	5,3E-5	2,2E-6	1,2E-7		2,0E-7	1,2E-7
Metil t-butil éter (MTBE)	#####	3,4E-5		5,6E-5	3,4E-5	2,6E-7	8,7E-9		1,5E-8	8,7E-9

Riesgo acumulativo de cáncer = **1,3E-7** **2,1E-7** **1,3E-7**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

EFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)				(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)			
	En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)		En sitio (0 m)		Fuera del sitio 1 (80 m)	Fuera del sitio 2 (130 m)
	Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial		Comercial	Obrero de la construcción	Residencial	Comercial
Hexano, n-	8,4E-3		7,7E-3	5,5E-3	6,7E-1	1,3E-2		1,2E-2	8,2E-3
Naftaleno	1,4E-6		2,0E-6	1,4E-6	3,0E-3	4,7E-4		6,6E-4	4,7E-4
Octanona	7,5E-6		1,0E-5	7,5E-6	1,8E+1	4,2E-7		5,8E-7	4,2E-7
Tolueno	1,7E-4		2,4E-4	1,7E-4	4,1E+0	4,3E-5		6,0E-5	4,3E-5
Etil benceno	1,3E-4		1,8E-4	1,3E-4	1,9E+0	6,6E-5		9,3E-5	6,6E-5
Xileno, o-	1,2E-6		1,6E-6	1,2E-6	6,1E-1	1,9E-6		2,6E-6	1,9E-6
Trimetilbenceno, 1,2,4-	9,9E-5		1,4E-4	9,9E-5	7,0E-3	1,4E-2		2,0E-2	1,4E-2
Benceno	1,5E-4		2,1E-4	1,5E-4	2,8E-1	5,3E-4		7,5E-4	5,3E-4
Metil t-butil éter (MTBE)	9,4E-5		1,3E-4	9,4E-5	3,0E+0	3,1E-5		4,4E-5	3,1E-5

Índice de peligro acumulativo = **2,8E-2** **3,3E-2** **2,3E-2**

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la vía está completa)

LIXIVIACIÓN DE SUELOS (2 - 10 m) A
AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	1) Foco del suelo	2) Factor de atenuación natural (L/kg)			3) Medio de exposición Agua subterr. Conc. en PDE (mg/L) (1)/(2)		
	Conc. en suelo (mg/kg)	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-	1,1E+2		2,6E+101			4,1E-100	
Naftaleno	2,9E+1		8,9E+79			3,3E-79	
Octanona	4,4E+1		6,3E+100			7,0E-100	
Tolueno	1,7E+1		3,5E+80			4,8E-80	
Etil benceno	1,7E+1		3,6E+28			4,9E-28	
Xileno, o-	2,4E+1		8,3E+16			2,8E-16	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2		4,1E+101			3,2E-100	
Benceno	8,5E+0		4,5E+7			1,9E-7	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1		1,1E+7			1,1E-6	

NAF = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

LIXIVIACIÓN DE SUELOS (2 - 10 m) A
AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	4) Factor multiplicador de la exposición (IRxEFxED)/(BWxAT) (L/kg-d)			5) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (3) x (4)		
	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-		6,4E-2			2,6E-101	
Naftaleno		6,4E-2			2,1E-80	
Octanona		6,4E-2			4,5E-101	
Tolueno		6,4E-2			3,1E-81	
Etil benceno		6,4E-2			3,1E-29	
Xileno, o-		6,4E-2			1,8E-17	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		6,4E-2			2,0E-101	
Benceno		1,5E-2			2,8E-9	
Metil t-butil éter (MTBE)		1,5E-2			1,6E-8	

AT = Tiempo promedio (días) ED = Duración de la exposición (años) IR = Tasa de ingestión (mg/día)
BW = Peso corporal (kg) EF = Frecuencia de la exposición (días/año)

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)

AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN

Compuestos de Interés	1) Foco del agua subterr.	2) Factor de atenuación natural (-)			3) Medio de exposición Agua subterr. Conc. en PDE (mg/L) (1)/(2)		
	Conc. en agua subterr. (mg/L)	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Hexano, n-	6,5E+0		1,0E+100			6,5E-100	
Naftaleno	1,8E+0		1,3E+78			1,4E-78	
Octanona	1,4E+1		1,0E+100			1,4E-99	
Tolueno	5,3E+0		5,5E+79			9,6E-80	
Etil benceno	1,1E+0		3,9E+27			2,7E-28	
Xileno, o-	1,4E+0		1,4E+16			1,0E-16	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	8,0E+0		1,0E+100			8,0E-100	
Benceno	2,7E+0		1,4E+7			1,9E-7	
Metil t-butil éter (MTBE)	3,7E+0		1,3E+7			2,7E-7	

FAN = Factor de atenuación natural PDE = Punto de exposición

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

AGUA SUBTERRÁNEA: INGESTIÓN (cont)

Compuestos de Interés	4) Factor multiplicador de la exposición (IRxEFxED)/(BWxAT) (L/kg/d)			5) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (3) x (4)		
	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
	Ninguno	Residencial	Ninguno	Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-		6.4E-2			4.2E-101	
Naftaleno		6.4E-2			8.8E-80	
Octanona		6.4E-2			8.9E-101	
Tolueno		6.4E-2			6.1E-81	
Etil benceno		6.4E-2			1.7E-29	
Xileno, o-		6.4E-2			6.4E-18	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		6.4E-2			5.1E-101	
Benceno		1.5E-2			2.8E-9	
Metil t-butil éter (MTBE)		1.5E-2			4.1E-9	

AT = Tiempo promedio (días)	ED = Duración de la exposición (años)	IR = Tasa de ingestión (mg/día)
BW = Peso corporal (kg)	EF = Frecuencia de la exposición (días/año)	

TIER 2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

INGESTA MÁXIMA POR LA RUTA (mg/kg/día)
*(Ingesta máxima entre las rutas activas
de lixiviación del suelo y/o aguas subterráneas)*

Compuestos de Interés	En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
	Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-		4.2E-101	
Naftaleno		8.8E-80	
Octanona		8.9E-101	
Tolueno		6.1E-81	
Etil benceno		3.1E-29	
Xileno, o-		1.8E-17	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		5.1E-101	
Benceno		2.8E-9	
Metil t-butil éter (MTBE)		1.6E-8	

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)			(3) Factor de pendiente oral (mg/kg-day) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI (2) x (3)		
		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)		En sitio (0 m)	Fuera del sitio 1 (500 m)	Fuera del sitio 2 (5200 m)
		Ninguno	Residencial	Ninguno		Ninguno	Residencial	Ninguno
Hexano, n-	FALSO				-			
Naftaleno	FALSO				-			
Octanona	FALSO				-			
Tolueno	FALSO				-			
Etil benceno	FALSO				-			
Xileno, o-	FALSO				-			
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO				-			
Benceno	VERDADERO		2.8E-9		1.5E-2		4.3E-11	
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO		1.6E-8		1.8E-3		3.0E-11	

Riesgo acumulativo de cáncer =

7.2E-11

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN PARA TIER 2

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AGUA SUBTERRÁNEA ■ (Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)			(6) Dosis de referencia oral (mg/kg/día)	(7) Cociente de peligro por cada CDI (5) / (6)		
	En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno		En sitio (0 m) Ninguno	Fuera del sitio 1 (500 m) Residencial	Fuera del sitio 2 (5200 m) Ninguno
Compuestos de Interés							
Hexano, n-		4,2E-101		6,0E-2		6,9E-100	
Naftaleno		8,8E-80		2,0E-2		4,4E-78	
Octanona		8,9E-101		6,0E-2		1,5E-99	
Tolueno		6,1E-81		8,0E-2		7,7E-80	
Etil benceno		3,1E-29		1,0E-1		3,1E-28	
Xileno, o-		1,8E-17		2,0E+0		9,1E-18	
Trimetilbenceno, 1,2,4-		5,1E-101		5,0E-2		1,0E-99	
Benceno		1,2E-8		4,0E-3		3,1E-6	
Metil t-butil éter (MTBE)		7,1E-8		1,0E-2		7,1E-6	

Índice de peligro acumulativo =

1,0E-5

RUTAS DE EXPOSICIÓN A SUELO

CÁLCULO DE LA CONCENTRACION DE EXPOSICION Y DOSIS

1 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS ■ (Marcado si la ruta está completa)
 SUELO SUPERFICIAL: EN SITIO ingestión,
 CONTACTO DERMICO

Compuestos de Interés	1) Foco del suelo	2) Factor multiplicador de la exposición		3) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (1) x (2)	
	Conc. en suelo superficial (mg/kg)	Residencial	Obrero de construcción	Residencial	Obrero de construcción
Hexano, n-	1,1E+2	1,3E-5		1,4E-3	-
Naftaleno	2,9E+1	2,2E-5		6,5E-4	-
Octanona	4,4E+1	1,3E-5		5,7E-4	-
Tolueno	1,7E+1	1,3E-5		2,2E-4	-
Etil benceno	1,7E+1	1,3E-5		2,2E-4	-
Xileno, o-	2,4E+1	1,3E-5		3,0E-4	-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,3E+2	1,3E-5		1,7E-3	-
Benceno	8,5E+0	2,3E-6		1,9E-5	-
Metil t-butil éter (MTBE)	1,2E+1	2,3E-6		2,7E-5	-

RAF = Factor de absorción relativa (-) AT = Tiempo promedio (días) ED = Duración de la exposición (años) IR = Tasa de ingesta del suelo (mg/día)
 M = Factor de adherencia (mg/cm²) BW = Peso corporal (kg) EF = Frecuencia de la exposición (días/año) SA = Área de exposición en la piel (cm²/día)

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

2 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS ■ (Marcado si la ruta está completa)

Compuestos de Interés	(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)				(3) Factor de pendiente (mg/kg/día) ⁻¹		(4) Riesgo de cada CDI	
		(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	(a) oral	(b) dérmico**	Residencial	Obrero de construcción
		Residencial		Obrero de construcción					
Hexano, n-	FALSO					-	-		-
Naftaleno	FALSO					-	-		-
Octanona	FALSO					-	-		-
Tolueno	FALSO					-	-		-
Etil benceno	FALSO					-	-		-
Xileno, o-	FALSO					-	-		-
Trimetilbenceno, 1,2,4-	FALSO					-	-		-
Benceno	VERDADERO	1,9E-5	0,0E+0			1,5E-2	1,5E-2	2,9E-7	-
Metil t-butil éter (MTBE)	VERDADERO	2,7E-5	0,0E+0			1,8E-3	1,8E-3	4,8E-8	-

** Si no hay factor de pendiente para contacto dérmico, se usa factor de pendiente para exposición oral.

Riesgo acumulativo de cáncer = **3,4E-7**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS ■ (Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)				(6) Dosis de referencia (mg/kg-d)		(7) Cociente de peligro por cada CDI	
	(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	(a) oral	(b) dérmico**	(5a)/(6a) + (5b)/(6b)	(5c)/(6a) + (5d)/(6b)
	Residencial		Obrero de construcción				Residencial	Obrero de construcción
Hexano, n-	1,4E-3	0,0E+0			6,0E-2	6,0E-2	2,3E-2	
Naftaleno	3,8E-4	2,8E-4			2,0E-2	2,0E-2	3,3E-2	
Octanona	5,7E-4	0,0E+0			6,0E-2	6,0E-2	9,5E-3	
Tolueno	2,2E-4	0,0E+0			8,0E-2	8,0E-2	2,7E-3	
Etil benceno	2,2E-4	0,0E+0			1,0E-1	1,0E-1	2,2E-3	
Xileno, o-	3,0E-4	0,0E+0			2,0E+0	2,0E+0	1,5E-4	
Trimetilbenceno, 1,2,4-	1,7E-3	0,0E+0			5,0E-2	5,0E-2	3,4E-2	
Benceno	1,1E-4	0,0E+0			4,0E-3	4,0E-3	2,7E-2	
Metil t-butil éter (MTBE)	1,5E-4	0,0E+0			1,0E-2	1,0E-2	1,5E-2	

** Si no hay dosis de referencia dérmica, se usa la dosis de referencia oral.

Índice de peligro acumulativo = 1,5E-1

