

Prince Miah Baidoo Pieteron

# **ZONAS DE AFECTACIÓN POR RIESGO QUÍMICO EN EL CAMP DE TARRAGONA: POBLACIÓN Y ELEMENTOS VULNERABLES**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Dirigido por la Dra. Yolanda Pérez Albert

Grado en Geografía, Análisis Territorial y Sostenibilidad



**UNIVERSITAT  
ROVIRA i VIRGILI**

Vila-seca

2025



## Agradecimientos

Quiero agradecer a la Dra. Yolanda Pérez Albert, directora de este trabajo, por sus valiosas indicaciones; a Joan Carles Francès Tudel y a los compañeros del Servei Territorial de Protecció Civil de Tarragona por su colaboración y por la positiva estancia durante las prácticas; a mis compañeros y amigos con los que he cursado el grado; y especialmente a mi familia por estar siempre presente a lo largo de este proceso.

## Resumen

El presente Trabajo de Final de Grado analiza el riesgo químico en el Territorio del Camp de Tarragona, con especial atención a la población vulnerable y los equipamientos sensibles. Se abordan cuatro objetivos específicos: verificar el criterio utilizado por la Generalitat de Catalunya para delimitar las zonas de intervención y alerta del PLASEQTA; evaluar la exposición y vulnerabilidad de la población a través de análisis espacial con *QGIS*, integrando factores sociales y demográficos como la edad, la renta y la proximidad a instalaciones industriales de nivel alto; analizar la cobertura del sistema de sirenas de alerta; y simular un escenario de accidente grave con *ALOHA*.

Los resultados evidencian desigualdades territoriales en la exposición al riesgo, concentración de población vulnerable en las zonas de intervención y limitaciones en la cobertura del sistema de sirenas en algunos municipios. El estudio aporta una visión territorial integrada del riesgo químico en el Camp de Tarragona, que puede servir de base para reforzar la planificación de emergencias.

**Palabras claves:** riesgo químico, Camp de Tarragona, PLASEQTA, población vulnerable, *QGIS*, *ALOHA*

## Abstract

This Final Degree Project analyzes chemical risk in the territory of Camp de Tarragona, with special attention to vulnerable populations and sensitive facilities. Four specific objectives are addressed: to verify the criteria used by the Generalitat of Catalonia to delimit the intervention and alert zones defined in the PLASEQTA; to assess population exposure and vulnerability through spatial analysis using *QGIS*, integrating social and demographic factors such as age, income, and proximity to high-level industrial facilities; to analyze the coverage of the chemical risk siren alert system; and to simulate a major accident scenario using *ALOHA*.

The results reveal territorial inequalities in risk exposure, a concentration of vulnerable populations within intervention zones, and limitations in siren coverage in certain municipalities. The study provides an integrated territorial perspective on chemical risk in Camp de Tarragona, which may serve as a basis for strengthening emergency planning.

**Keywords:** chemical risk, Camp de Tarragona, PLASEQTA, vulnerable population, *QGIS*, *ALOHA*

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>2. Marco teórico, conceptual y metodológico</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Marco teórico y conceptual</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Estado de la cuestión (Estudios previos)</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Marco metodológico</b>	<b>16</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>18</b>
<b>4. Metodología</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Revisión bibliográfica</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Delimitación de zonas de afectación: Intervención y Alerta</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Exposición y vulnerabilidad de la población</b>	<b>21</b>
4.3.1 Exposición de la población	22
4.3.1.1 Distancia de centros poblados a focos de riesgos	22
4.3.1.2 Población expuesta y grados de severidad	22
4.3.2 Vulnerabilidad de la población	24
4.3.3 Exposición de equipamientos sensibles	24
<b>4.4 Evaluación de cobertura de sirenas de alerta</b>	<b>25</b>
<b>4.5 Simulación de escenarios de accidentes químicos</b>	<b>27</b>
<b>5. Análisis de resultados</b>	<b>30</b>
<b>5.1 Delimitación de zonas de afectación: intervención y alerta</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Exposición y vulnerabilidad de la población</b>	<b>32</b>
5.2.1 Exposición de la población	32
5.2.1.1 Distancia de centros poblados a focos de riesgo	32
5.2.1.2 Población expuesta y grados de severidad	33
5.2.2 Vulnerabilidad de la población	46
5.2.3 Exposición de equipamientos sensibles	51
<b>5.3 Evaluación de la cobertura poblacional del sistema de sirenas de alerta</b>	<b>57</b>
5.3.1 Cobertura general de la población	58
5.3.2 Cobertura en la zona de intervención	59
5.3.3 Población no cubierta en la zona de intervención y propuesta de nueva sirena	61
5.3.4 Población no cubierta en la zona de alerta	62
5.3.5 Comparativa de cobertura poblacional entre 2022 y 2024	64

<b>5.4 Simulación de escenarios de accidentes químicos</b>	<b>66</b>
5.4.1 Resultados de ALOHA	66
5.4.2 Análisis espacial en QGIS	67
a) Población expuesta por niveles AEGL	69
b) Equipamientos sensibles expuestos	72
<b>6. Limitaciones</b>	<b>74</b>
<b>7. Conclusiones y propuestas de mejora</b>	<b>75</b>
7.1 Conclusión del objetivo específico 1	75
7.2 Conclusión del objetivo específico 2	75
7.3 Conclusión del objetivo específico 3	77
7.4 Conclusión del objetivo específico 4	78
7.5 Conclusión general	79
<b>8. Referencias</b>	<b>82</b>
<b>9. Anexo 1</b>	<b>86</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Superficie de la zona de intervención y alerta	10
Tabla 2. Municipios incluidos en la zona de afectación	11
Tabla 3. Superficie de los polígonos industriales en el Camp de Tarragona	12
Tabla 4. Municipios con establecimientos Seveso: nivel superior y nivel inferior	13
Tabla 5. Reclasificación de valores	23
Tabla 6. Población residente en cada tramo de distancias de riesgo	32
Tabla 7. Población en la zona de intervención de severidad 5, por grupos de riesgo. (2024)	36
Tabla 8. Población en la zona de alerta de severidad 5, por grupos de riesgo. (2024)	38
Tabla 9. Población en la zona de intervención de severidad 4, por grupos de riesgo. (2024)	40
Tabla 10. Población en la zona de alerta de severidad 4, por grupos de riesgo. (2024)	41
Tabla 11. Población en la zona de intervención de severidad 3, por grupos de riesgo. (2024)	43
Tabla 12. Población en la zona de alerta de severidad 3, por grupos de riesgo. (2024)	44
Tabla 13. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 5, 2024	51
Tabla 14. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 4, 2022	52
Tabla 15. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 3, 2022	53
Tabla 16. Población general cubierta por sirenas en el Camp de Tarragona (2024)	58
Tabla 17. Población cubierta por sirenas en la zona de intervención (2024)	60
Tabla 18. Población no cubierta por sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)	61
Tabla 19. Población no cubierta por sirenas en la zona de alerta (2024)	63
Tabla 20. Tabla comparativa de cobertura poblacional por sirenas (2022-2024)	65
Tabla 21. Extensión espacial de la pluma de dispersión de SO <sub>2</sub> según niveles AEGL	68
Tabla 22. Municipios afectados por la proyección de la pluma tóxica simulada con ALOHA	68
Tabla 23. Población total afectada por el escenario de fuga según zona de intervención y alerta. (2024)	69
Tabla 24. Población expuesta en zona de intervención por municipio y grupo de riesgo. (2024)	70
Tabla 25. Población expuesta en zona de alerta por municipio y grupo de riesgo. (2024)	70
Tabla 26. Distribución total de población en grupos de riesgo en zonas de intervención y alerta. (2024)	71
Tabla 27. Equipamientos sensibles expuestos en zona de intervención	72
Tabla 28. Equipamientos sensibles expuestos en zona de alerta	72
Tabla 29. Establecimientos industriales, sustancias, efectos y clasificación de severidad	86
Tabla 30. Reclasificación completa de valores	87

## Índice de figuras

Figura 1. Ilustración de la zona de alerta y la zona de intervención	10
Figura 2. Situación territorial de las zonas de afectación	11
Figura 3. Polígonos industriales del Camp de Tarragona	12
Figura 4. Esquema metodológico del análisis de exposición, severidad y vulnerabilidad de la población	21
Figura 5. Ilustración de las zonas de intervención y alerta para nubes tóxicas	29
Figura 6. Distancia mínima entre los centros poblados y los establecimientos de nivel alto (m)	33
Figura 7. Mapa de severidad por categorías de accidente	35
Figura 8. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 5 (zona de intervención)	37
Figura 9. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 5 (zona de alerta)	39
Figura 10. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 4 (zona de intervención)	40
Figura 11. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 4 (zona de alerta)	42
Figura 12. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 3 (zona de alerta)	44
Figura 13. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 5, 2022	46
Figura 14. Renta neta media por persona en las zonas de severidad 5 (Intervención y Alerta), 2022	47
Figura 15. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 4, 2022	48
Figura 16. Renta neta media por persona en zonas de severidad 4 (Intervención y Alerta), 2022	49
Figura 17. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 3, 2022	49
Figura 18. Renta neta media por persona en zonas de severidad 3 (Intervención y Alerta), 2022	50
Figura 19. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZI y ZA (severidad 5, 2022)	51
Figura 20. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZI y ZA (severidad 4, 2022)	52
Figura 21. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZA y ZI (severidad 3, 2022)	53
Figura 22. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 5)	54
Figura 23. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 4)	55
Figura 24. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 3)	56
Figura 25. Cobertura actual y propuesta de sirenas de alerta en el Camp de Tarragona (2024)	57
Figura 26. Cobertura general de sirenas en el Camp de Tarragona por municipio (2024)	59
Figura 27. Cobertura de sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)	60
Figura 28. Población no cubierta por sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)	62
Figura 29. Población no cubierta por sirenas en la zona de alerta del Camp de Tarragona (2024)	64
Figura 30. Pluma de dispersión de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) para el escenario de fuga en Clariant Ibérica Producción S.A	67
Figura 31. Pluma de dióxido de azufre simulada con ALOHA en Clariant Ibérica Producción S.A., sobre zonas de intervención y alerta	69

<i>Figura 32. Distribución espacial de la población afectada por el escenario de fuga de SO<sub>2</sub></i>	71
<i>Figura 33. Distribución espacial de equipamientos sensibles expuestos SO<sub>2</sub> en ZI y ZA</i>	73
<i>Figura 34. Datos simulación ALOHA</i>	87

## 1. Introducción

### Justificación del tema

El territorio del Camp de Tarragona concentra un elevado número de actividades industriales, especialmente del sector químico, que forman parte de la vida cotidiana de la población desde hace décadas. La proximidad de estas instalaciones plantea, no obstante, la necesidad de comprender mejor cómo se articulan los riesgos potenciales en el territorio y qué implicaciones pueden tener en el conocimiento del riesgo y su gestión.

La percepción social del riesgo no siempre refleja su alcance real: vivir cerca de focos industriales no implica necesariamente comprender sus implicaciones en términos de seguridad, salud y ordenación territorial. Ante esta situación, surge la necesidad de abordar el estudio de las industrias químicas desde una perspectiva geográfica, que permita analizar sus efectos sobre la población, los equipamientos sensibles y los sistemas de prevención.

En este contexto, el presente trabajo se plantea como una oportunidad para aplicar herramientas de análisis espacial y criterios técnicos de evaluación del riesgo en el Camp de Tarragona. La investigación no solo aporta un enfoque académico, sino que también puede resultar útil para la planificación de la protección civil y la gestión del territorio.

## Contexto territorial

El área de estudio comprende las zonas de afectación en caso de accidente químico definidas en el PLASEQTA (*Pla d'emergència exterior del sector químic de Tarragona*), clasificadas oficialmente como zona de intervención y zona de alerta, con una superficie de 83,4 km<sup>2</sup> y 425,1 km<sup>2</sup> respectivamente (véase Tabla 1).

**Tabla 1. Superficie de la zona de intervención y alerta**

Zona	Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
Alerta	425,1	83,6
Intervención	83,4	16,4
Total	508,5	100,0

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

“La zona de intervención es aquella en la que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daño que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección. En principio, dentro de la zona de intervención toda la población puede sufrir daños como consecuencia de un accidente, en ausencia de medidas de autoprotección, mientras que la zona de alerta es aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población” (Ministerio del Interior, 2011, p .14).

**Figura 1. Ilustración de la zona de alerta y la zona de intervención**



*Fuente: Protección Civil Villena*

En este contexto, 29 municipios<sup>1</sup> se encuentran total o parcialmente dentro del área de afectación, abarcando una superficie conjunta de 508,5 Km<sup>2</sup> y una población estimada de 430.149 habitantes (2024). El listado completo de municipios incluidos puede consultarse en la Tabla 2.

<sup>1</sup> El PLASEQTA establece que el número total de municipios es de treinta y uno; sin embargo, en este análisis no se incluyen Pradell de la Teixeta i Vimbodí i Poblet.

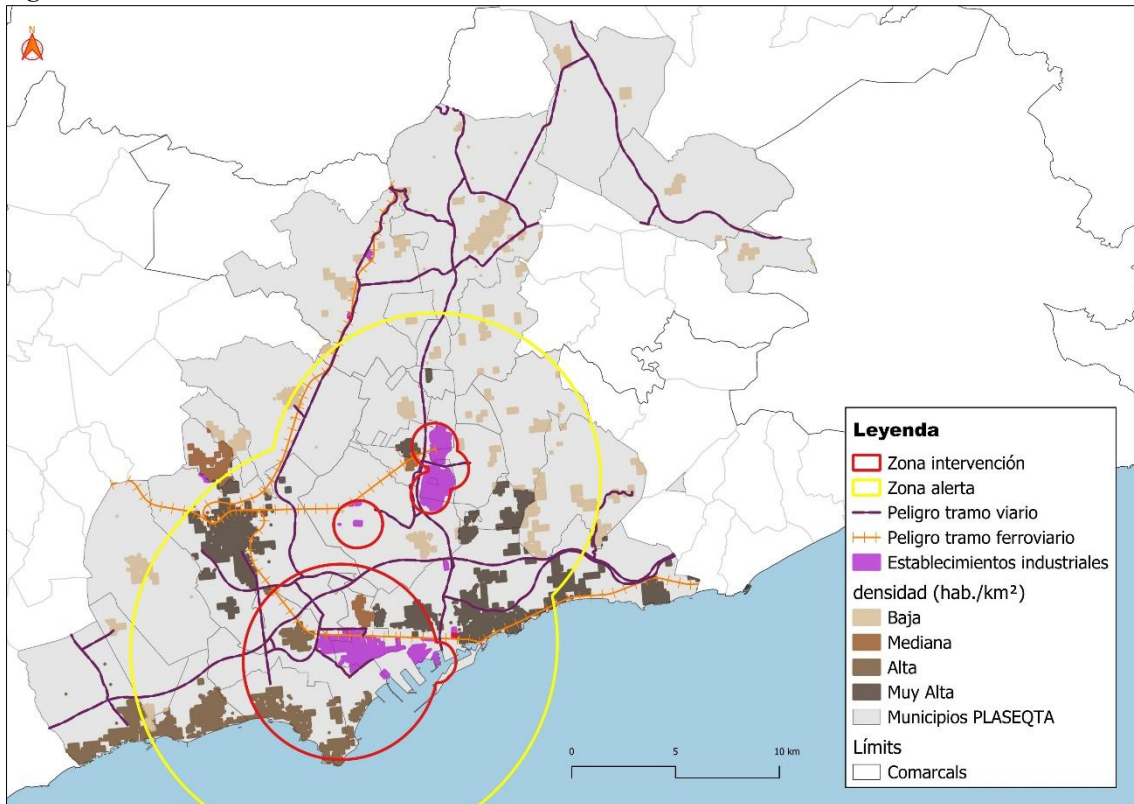
**Tabla 2. Municipios incluidos en la zona de afectación**

1. Alcover	11. Garidells, Els	21. Rodonyà
2. Almofter	12. Pallaresos, Els	22. Salou
3. Cambrils	13. Canonja, La	23. Tarragona
4. Castellvell del Camp	14. Masó, La	24. Vallmoll
5. Constantí	15. Pobla de Mafumet, La	25. Valls
6. Catllar, El	16. Secuita, La	26. Vilallonga del Camp
7. Milà, El	17. Selva del Camp, La	27. Vila-rodona
8. Morell, El	18. Perafort	28. Vila-seca
9. Pla de Santa Maria, El	19. Reus	29. Vinyols i els Arcs
10. Rourell, El	20. Riudoms	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

La Figura 2 muestra un plano general de la situación actual, donde se representan las zonas de afectación y los municipios implicados. Además, se incluye el nivel de peligrosidad asociado al transporte de mercancías peligrosas, tanto por carretera como por ferrocarril. El tramo viario, que recorre prácticamente toda el área de estudio, presenta una longitud de 317,01 km. De forma complementaria, el tramo ferroviario abarca 195,12 km.

**Figura 2. Situación territorial de las zonas de afectación**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

A grandes rasgos, se identifican dos grandes polígonos industriales<sup>2</sup>: el polígono sur y el polígono norte, con una superficie de 438,4 y 394,3 hectáreas respectivamente, que concentran aproximadamente el 91,9 % de la superficie industrial total del Camp de Tarragona.

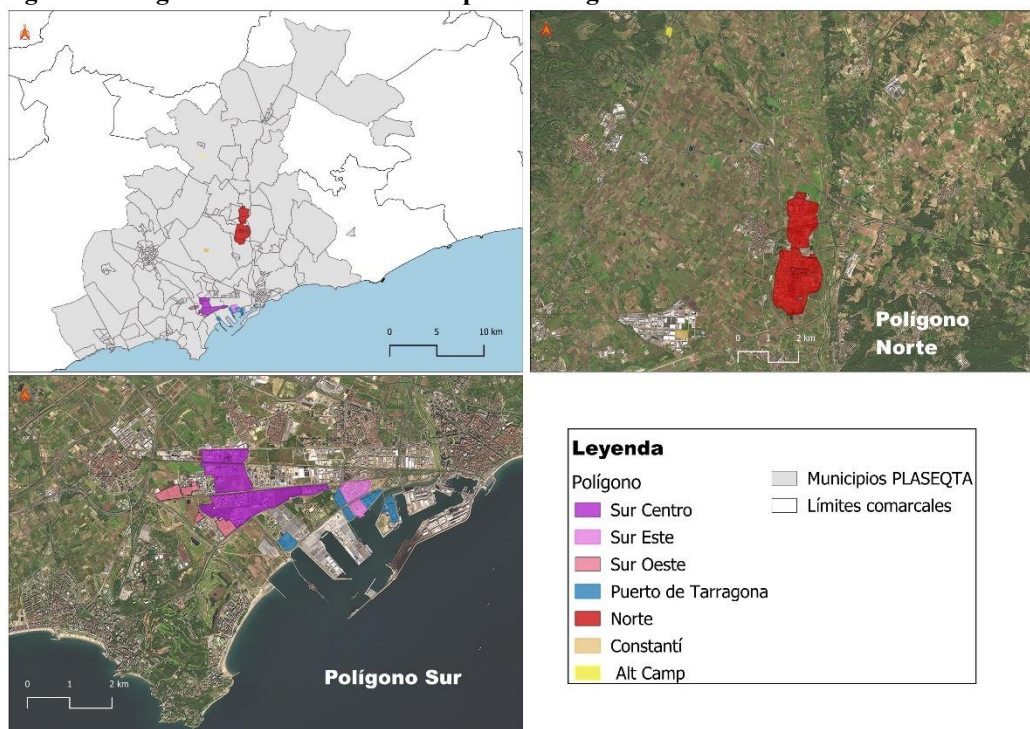
A estos se suman otros establecimientos industriales de tamaño medio y pequeño que pueden asociarse a cada área: el puerto de Tarragona (42,2 ha), integrado en el polígono sur, y los polígonos de Constantí (17,6 ha) y Alcover (13,2 ha), vinculados al polígono norte. En conjunto, se conforman cinco áreas industriales, como se muestra en la Figura 3.

**Tabla 3. Superficie de los polígonos industriales en el Camp de Tarragona**

Polígonos	Superficie (ha)	%
Polígono sur	438,4	48,4
Polígono norte	394,3	43,5
Puerto de Tarragona	42,2	4,7
Polígono Constantí	17,6	1,9
Polígono Alcover	13,2	1,5
<b>Total</b>	<b>905,7</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

**Figura 3. Polígonos industriales del Camp de Tarragona**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

<sup>2</sup> Polígono industrial: Espacio de uso industrial delimitado y urbanizado que concentra actividades de fabricación, talleres y naves de almacenamiento. (López Trigal et al., 2015, p.484)

Los polígonos industriales del Camp de Tarragona contienen una gran diversidad de establecimientos que manipulan sustancias peligrosas. Aquellos que superan los umbrales definidos en el Anexo 1 del Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre<sup>3</sup> son clasificados como instalaciones Seveso<sup>4</sup>, en referencia a la normativa europea sobre riesgos graves.

Esta clasificación distingue entre nivel superior y nivel inferior, según la cantidad de sustancias peligrosas presentes. La Tabla 4 muestra los municipios con establecimientos Seveso de ambos niveles. En total, se identifican 39 establecimientos distribuidas en varios municipios, de las cuales 29 corresponden al nivel superior y 10 al nivel inferior. Estas instalaciones representan el área industrial más sensible del territorio, y su localización se corresponde con los principales polígonos industriales, especialmente en la Canonja, Tarragona, Vila-seca y la Pobla de Mafumet.

**Tabla 4. Municipios con establecimientos Seveso: nivel superior y nivel inferior**

Municipio	Nivel superior	Nivel inferior	Total
Alcover	1	1	2
Canonja, La	11	4	15
Constantí	1	2	3
Morell, El	2	1	3
Pobla de Mafumet, La	3		3
Tarragona	8	1	9
Vila-seca	3	1	4
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>39</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

<sup>3</sup> Nivel superior: establecimientos donde las sustancias peligrosas están en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 3 de la parte 1 o de la parte 2 del anexo 1 del RD 840/2015.

Nivel inferior: establecimientos donde las sustancias peligrosas están en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 2 de la parte 1 o de la parte 2 del anexo 1 del RD 840/2015, pero inferiores a las cantidades de la columna 3. (Gobierno de España, 2015, p. 10)

<sup>4</sup> Existe un establecimiento de explosivos de nivel bajo ubicado en Reus, así como un establecimiento de Adif en Constantí y Tarragona destinado al manejo de mercancías peligrosas.

## 2. Marco teórico, conceptual y metodológico

### 2.1 Marco teórico y conceptual

#### Concepto de riesgo y peligro

El riesgo se entiende como la posibilidad de sufrir un daño, ya sea hacia instalaciones, personas o el medio ambiente (Castro Delgado y Arcos González, 1998, p. 490), este puede expresarse como el producto entre la probabilidad de ocurrencia de un accidente y sus consecuencias. En este sentido, el peligro constituye el origen del riesgo: es aquello que puede desencadenar un accidente, y se manifiesta como un factor físico o químico (Castro Delgado y Arcos González, 1998).

#### Tipos de riesgo

Los riesgos pueden clasificarse en naturales y antrópicos. El riesgo natural se refiere a la probabilidad de que ocurra un fenómeno de origen natural que pueda provocar daños en la población o en infraestructuras humanas (López Trigal et al., 2015, p. 535). Por otro lado, el riesgo antrópico se origina por la intervención humana, voluntaria o no, y engloba los riesgos tecnológicos (López Trigal et al., 2015, p. 531).

El riesgo tecnológico se define como la posibilidad de que ocurran eventos perjudiciales para la vida en el corto, mediano o largo plazo, como resultado de decisiones de inversión en la estructura productiva (Oliveira y Borges, 2018, p. 287). Este tipo de riesgo puede derivarse del incumplimiento de normas de seguridad en la producción, transporte, manipulación o almacenamiento de productos peligrosos, y está asociado a áreas industriales, medios de transporte, grandes infraestructuras y zonas densamente pobladas (López Trigal et al., 2015). Dentro de esta categoría se encuentra el riesgo químico, originado por procesos químicos que involucran sustancias peligrosas (Gobierno Vasco, 2025).

#### Accidentes graves y efectos peligrosos

Los accidentes graves en establecimientos industriales pueden generar efectos peligrosos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes. Estos efectos se clasifican en tres tipos (Ministerio del Interior, 2011; Castro Delgado y Arcos González, 1998):

- Mecánicos: ondas de presión y proyectiles, generalmente asociados a explosiones.
- Térmicos: incendios y radiaciones térmicas.
- Químicos: fugas o vertidos incontrolados de sustancias tóxicas o contaminantes.

Cada uno de estos fenómenos puede generar consecuencias diferenciadas en la población, lo que permite hablar de vulnerabilidad específica ante explosiones, fenómenos térmicos o fugas químicas.

## Daños y vulnerabilidad

El daño se entiende como la pérdida de vidas humanas, lesiones corporales, perjuicios materiales o deterioro grave del medio ambiente, como resultado directo o indirecto de las propiedades tóxicas, inflamables, explosivas, oxidantes o de otra naturaleza de las sustancias peligrosas (Ministerio del Interior, 2011, p. 9).

La vulnerabilidad del entorno está condicionada por la presencia de colectivos que requieren ayuda externa para protegerse en una situación de emergencia, como niños, personas mayores, enfermos o embarazadas (Generalitat de Catalunya, 2007, pp. 13-15). En esta línea, Tahmid et al. (2020, p. 3) señalan que las mujeres también pueden presentar una mayor vulnerabilidad debido a factores biológicos y condiciones específicas como el embarazo, lo que incrementa su susceptibilidad ante la exposición a sustancias peligrosas. A partir de estas consideraciones, se establecen los elementos vulnerables y muy vulnerables, que agrupan los principales equipamientos donde se concentra población sensible o numerosa.

- Elementos vulnerables: instalaciones deportivas, centros comerciales, restaurantes y bares, centros religiosos, parques y jardines.
- Elementos muy vulnerables: hospitales, residencias de tercera edad, guarderías, escuelas, campings y hoteles.

## Objeto de riesgo y establecimientos

Se entiende por objeto de riesgo todo aquello que contiene peligros, como las industrias químicas. El establecimiento se define como la totalidad de la zona bajo el control de un industrial en la que se encuentran sustancias peligrosas, incluidas instalaciones, infraestructuras y actividades conexas (Ministerio del Interior, 2011, p. 9).

Los accidentes graves se clasifican en tres categorías según sus consecuencias (Ministerio del Interior, 2011):

- Categoría 1: daños materiales limitados al interior del establecimiento.
- Categoría 2: víctimas y daños materiales con repercusiones exteriores leves.
- Categoría 3: víctimas, daños graves y alteraciones significativas del medio ambiente con efectos en zonas extensas.

## 2.2 Estado de la cuestión (Estudios previos)

La bibliografía revisada ha abordado el riesgo químico en entornos industriales desde distintas perspectivas. En Europa, se registran de media unos 30 accidentes químicos industriales al año y cada instalación peligrosa sufrirá al menos un accidente durante su vida útil (Fekete y Neuner, 2023). El manejo de sustancias peligrosas en la industria puede desencadenar incendios, explosiones o liberaciones tóxicas, con efectos en cadena de gran potencial destructivo (Cetinyokus et al., 2024; Yu et al., 2020; Yoo y Choi, 2019). Entre los accidentes más frecuentes destacan las fugas de sustancias químicas, que cuando no se controlan generan daños graves en la salud humana y en el medio ambiente (Xiao y Lu, 2017).

En materia de vulnerabilidad, la bibliografía revisada coincide en que los niños, ancianos y mujeres embarazadas son los grupos más expuestos a los efectos de los accidentes químicos (Fekete y Neuner, 2023; Yu et al., 2020; Tahmid et al., 2020; Li et al., 2010). Otros factores relevantes son la densidad de población, la presencia de comunidades extranjeras con posibles barreras lingüísticas, el analfabetismo, la tasa de desempleo o la calidad de la vivienda (Gentili et al., 2018).

Por otro lado, la planificación y la gestión adecuada de las evacuaciones se ha identificado como un factor clave para reducir riesgos. Prever la extensión de nubes tóxicas u ondas expansivas es esencial en este proceso (Cavanagh, 2011).

## 2.3 Marco metodológico

La bibliografía revisada muestra una amplia aplicación de herramientas de análisis espacial y modelos de simulación en la investigación del riesgo químico. En este sentido, Oliveira y Borges (2018) aplican sistemas de información geográfica junto con un enfoque multicriterio para elaborar un mapa de vulnerabilidad poblacional en Manaus (Brasil), integrando tanto la exposición como las características sociales de la población.

De forma similar, Fekete y Neuner (2023) utilizan *QGIS* para evaluar la exposición y la vulnerabilidad de comunidades cercanas a instalaciones Seveso en Alemania, estableciendo *buffers* de 1, 5, 10, 20 y 40 km alrededor de los focos de riesgo.

En Corea del Sur, Yu et al. (2020) emplean SIG para identificar puntos críticos de riesgo químico en Ulsan, delimitando zonas de 200 metros en torno a infraestructuras esenciales, mientras que Lee et al. (2022) simulan explosiones de nitrato de amonio en el puerto de Busan, diseñando escenarios que contemplan distintas magnitudes y definiendo áreas de influencia de hasta 3 km.

En Bangladesh, Tahmid et al. (2020) aplican *ArcGIS* y un análisis multicriterio con ponderación de seis indicadores para medir la vulnerabilidad social en zonas industriales, además de plantear cuatro escenarios de accidentes que incluyen explosiones, incendios y dispersiones tóxicas.

Otros trabajos incorporan metodologías basadas en el proceso analítico jerárquico. Es el caso de Soto y Renard (2015) y Soto et al. (2014), quienes emplean AHP para ponderar factores de vulnerabilidad humana, medioambiental y de equipamientos, representándolos en cartografía SIG. En Argentina, Gentili et al. (2018) integran variables sociales, económicas y técnicas en el análisis de la vulnerabilidad poblacional de Bahía Blanca. Por su parte, Li et al. (2010) cuantifican la vulnerabilidad humana en áreas próximas a instalaciones químicas mediante SIG y simulaciones con *ALOHA*, delimitando zonas de riesgo en función de los niveles de exposición AEGL.

En materia de simulación de accidentes, Cetinyokus et al. (2024) analizan las consecuencias de la rotura de un gasoducto en Turquía, definiendo escenarios con y sin combustión y estableciendo zonas de impacto que incluyen onda expansiva, toxicidad, inflamabilidad y radiación térmica. Yoo y Choi (2019) simulan una liberación continua de cloro durante diez minutos en Ulsan, mientras que Ni et al. (2014) recurren al modelo *SLAB* para representar la dispersión de fugas químicas.

Además de la evaluación de escenarios, algunos trabajos han desarrollado herramientas para mejorar la gestión del riesgo. Huang et al. (2011) diseñan sistemas de alerta temprana que permiten cuantificar y emitir avisos de riesgo en plantas químicas, y Rajeev et al. (2019) elaboran un mapa de rutas de evacuación que optimiza la accesibilidad a hospitales, estaciones de bomberos y carreteras principales.

En conjunto, la bibliografía revisada demuestra la relevancia de los SIG, los métodos multicriterio y los modelos de simulación como instrumentos clave para la identificación, evaluación y gestión del riesgo químico en entornos industriales.

### 3. Objetivos

#### **Objetivo general**

Analizar el riesgo químico y delimitar las zonas de impacto sobre la población, con énfasis en los grupos sensibles y los elementos vulnerables, mediante el uso de herramientas SIG en las zonas de afectación del Camp de Tarragona, para su aplicación en la planificación territorial y la protección civil.

#### **Objetivos específicos**

1. Verificar el criterio utilizado por la Generalitat de Catalunya para delimitar los *buffers* de afectación correspondientes a las zonas de intervención y alerta máximas definidas en el PLASEQTA.
2. Evaluar la exposición y la vulnerabilidad de la población ante el riesgo químico, considerando factores demográficos y sociales, así como la proximidad a instalaciones industriales de nivel alto.
3. Analizar la distribución y la cobertura de las sirenas de alerta por riesgo químico, identificando las áreas pobladas que quedan fuera de su alcance.
4. Analizar un posible escenario de accidente grave mediante el uso de *ALOHA* y *QGIS*, evaluando sus impactos y áreas de afectación.

## 4. Metodología

La metodología empleada en este estudio responde al objetivo general de analizar el riesgo químico y delimitar su impacto sobre la población del Camp de Tarragona, con especial atención a los grupos sensibles y elementos vulnerables. Para ello, se ha aplicado un análisis espacial del territorio mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten integrar datos geográficos, demográficos y normativos en materia de protección civil y ordenación territorial.

Este capítulo se organiza en función de los objetivos específicos planteados:

- En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica sobre el análisis de riesgos tecnológicos, el uso de herramientas SIG y la planificación territorial en entornos industriales, con el fin de establecer el marco conceptual y metodológico del estudio.
- A continuación, se verifica el criterio técnico utilizado por la Generalitat de Catalunya para definir las zonas de intervención y alerta del Plan PLASEQTA.
- Seguidamente, se evalúa la exposición y vulnerabilidad poblacional ante el riesgo químico, considerando tanto la proximidad a focos de riesgo como factores sociales y demográficos en las zonas de severidad.
- Posteriormente, se analiza la distribución y cobertura de las sirenas de alerta, identificando zonas con menor cobertura sonora.
- Finalmente, se simula un escenario de accidente grave mediante el uso combinado de *ALOHA 5.4.7 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)* y *QGIS 3.40.3 "Bratislava"* con el fin de estimar sus impactos y delimitar zonas de afectación.

### 4.1 Revisión bibliográfica

Para revisar cómo se ha abordado el estudio de los accidentes químicos industriales en la bibliografía, se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus y en Google Scholar, utilizando términos clave relacionados con riesgo tecnológico, los accidentes industriales y las herramientas SIG.

La búsqueda se llevó a cabo con la siguiente combinación de palabras clave:

(TITLE-ABS-KEY("chemical accident" OR "technological risk" OR "industrial accident" OR "hazardous materials") AND TITLE-ABS-KEY("Gis" OR "geographic information system" OR "git" OR "geographic information technolog\*" OR "multi-criteria analysis") AND TITLE-ABS-KEY("population risk" OR "critical facilities" OR "critical infrastructure" OR "emergency response" OR "vulnerability" OR "exposure" OR "buffer zone"))).

Como resultado, se identificaron 120 artículos, de los cuales, tras aplicar un filtro por año de publicación (2010-2024), se seleccionaron 67.

Finalmente, se eligieron 29 estudios relevantes que sirvieron de base para el desarrollo del Estado de la cuestión y la definición del marco teórico y metodológico del estudio.

Los artículos seleccionados cumplían criterios como:

- Aplicación de herramientas SIG en el análisis de riesgos tecnológicos.
- Evaluación de la exposición y vulnerabilidad de la población ante accidentes industriales.
- Integración de variables espaciales, sociales y demográficas.
- Uso de modelos multicriterio o simulaciones aplicadas a escenarios de accidente industrial.

Además, se consultaron normativas y documentos oficiales publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE), el Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC) y la Dirección General de Protección Civil de la Generalitat de Catalunya, incluyendo guías técnicas específicas.

Este apartado ha permitido establecer el marco conceptual y metodológico del estudio, identificar enfoques previos en el análisis del riesgo químico, y seleccionar criterios adecuados para la evaluación de la exposición, la vulnerabilidad y la simulación de escenarios de accidente industrial.

#### 4.2 Delimitación de zonas de afectación: Intervención y Alerta

Con el objetivo de verificar el criterio utilizado por la Generalitat de Catalunya para delimitar los *buffers* de afectación correspondientes a las zonas de intervención y alerta definidas en el PLASEQTA, se ha llevado a cabo una revisión documental y cartográfica en fuentes oficiales de planificación territorial y protección civil.

La metodología empleada ha consistido en la consulta y análisis de los siguientes documentos:

- *Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas* (Ministerio del Interior, 2011).
- *Pla d'emergència exterior del sector químic de Tarragona (PLASEQTA)* (Generalitat de Catalunya, 2024)
- *Guia de criteris per a la planificació del territori en l'entorn dels establiments industrials afectats* (Generalitat de Catalunya, 2007).
- *Guia para la ordenación territorial en el marco del artículo 12 de la Directiva Seveso II (96/82/CE), modificada por Directiva 105/2003/CE* (Ministerio del interior, 2010).
- Metadatos de la cartografía oficial *Zones d'intervenció i alerta màximes* disponible en el visor de protección civil de la Generalitat de Catalunya.

### 4.3 Exposición y vulnerabilidad de la población

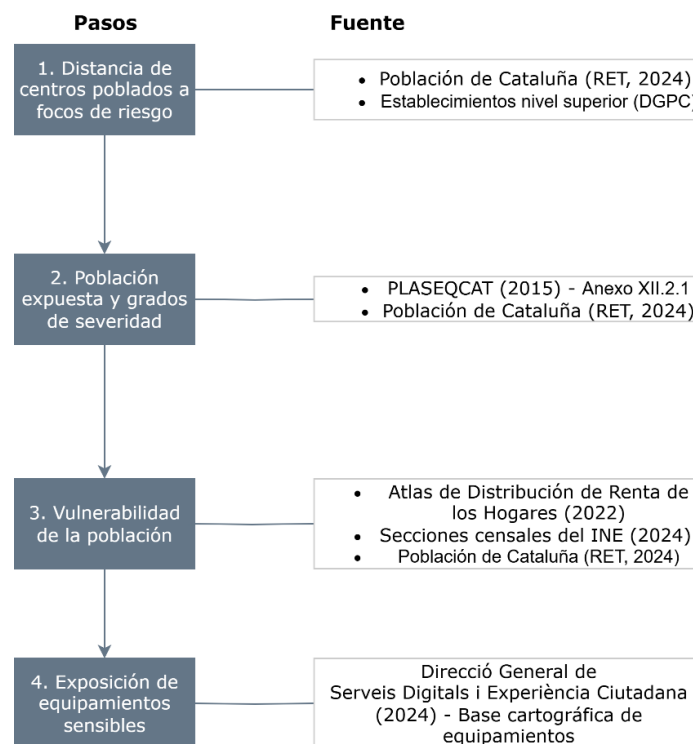
Este apartado aplica métodos de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando *QGIS* 3.40.3 “Bratislava” como herramienta principal para evaluar la exposición y la vulnerabilidad de la población<sup>5</sup> ante escenarios de accidente grave. Dado que el estudio se desarrolla en Cataluña, se adopta el sistema de referencia de coordenadas EPSG:25831 (ETRS89 / UTM Zona 31N), lo que garantiza la correcta georreferenciación de los datos en la zona de estudio.

El análisis se estructura en tres etapas principales:

1. Determinación de la exposición de la población al foco de riesgo.
2. Evaluación de la vulnerabilidad poblacional.
3. Identificación y cuantificación de equipamientos sensibles localizados en zonas de severidad.

La figura 6 resume de forma esquemática el proceso metodológico seguido para el análisis espacial de exposición, la severidad y la vulnerabilidad. En ella se presentan las principales fases del procedimiento, las fuentes de datos utilizadas (censo de población y Registro Estadístico de Territorio, DGPC, PLASEQCAT, INE, entre otras). Este esquema proporciona una visión general del flujo de trabajo que se detalla en los apartados siguientes.

**Figura 4. Esquema metodológico del análisis de exposición, severidad y vulnerabilidad de la población**



Fuente: Elaboración propia

<sup>5</sup> La vulnerabilidad del entorno está condicionada por la presencia de colectivos que requieren ayuda externa para protegerse en una situación de emergencia, como niños, personas mayores, enfermos o embarazadas (Generalitat de Catalunya, 2007, pp. 13-15).

### 4.3.1 Exposición de la población

Mediante análisis vectorial, se calcula la distancia entre los centros de población y los focos de riesgo, utilizando dos herramientas principales: la *matriz de distancias* y la *línea más corta entre objetos*. Posteriormente, se cuantifica la población expuesta en las distintas zonas, considerando el nivel de severidad.

#### 4.3.1.1 Distancia de centros poblados a focos de riesgos

##### Fuentes de información

Para este análisis se emplean dos capas principales:

1. Población de Cataluña

Polígonos georreferenciados a fecha 1 de enero de 2024, obtenidos del censo de población y del Registro Estadístico de Territorio. Para el cálculo de la *matriz de distancias*, se extrae el centroide de cada polígono, generando una capa de puntos.

2. Establecimientos PLASEQTA

Puntos correspondientes a los establecimientos de nivel superior registrados por la Dirección General de Protección Civil de la Generalitat de Catalunya.

##### Matriz de distancias

Se utiliza la herramienta *Matriz de distancias*, que genera una tabla con las distancias calculadas entre todos los puntos de población y los focos de riesgo. Posteriormente, estas distancias se agrupan en intervalos de 1000 metros (0-1000 m, 1000-2000 m, 2000-3000 m, 3000-4000 m y 4000-5000 m). La tabla resultante indica, para cada tramo, el número de puntos de población cuya distancia al foco de riesgo se encuentra dentro del intervalo correspondiente.

##### Línea más corta entre objetos

Este procedimiento genera una capa de líneas que representa la línea más corta entre cada polígono de población y los establecimientos de nivel superior. Se utiliza el método *distance to nearest point on feature*, configurando un máximo de dos elementos cercanos y un límite de 10 km.

#### 4.3.1.2 Población expuesta y grados de severidad

Para cuantificar la población expuesta en función del grado de severidad, se digitaliza una capa categorizada que delimita las zonas de intervención y alerta. El proceso se desarrolla en cuatro fases principales: elaboración de la tabla base, reclasificación de variables, digitalización y cruce con datos de población.

1. Elaboración de la tabla base (Véase Tabla 30 del Anexo 1)

Se elabora una tabla de industrias de nivel alto, sustancias peligrosas, efectos y categorías de severidad, a partir del Anexo XII.2.4.1 del *Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT)* (Generalitat de Catalunya, 2015, pp. 192-199) para el sector de riesgo de Tarragona.

Se recopilan datos de 30 industrias clasificadas con nivel de riesgo alto, indicando la sustancia asociada, el tipo de efecto y la categoría<sup>6</sup> de accidente correspondiente.

## 2. Reclasificación de variables

A la tabla creada en el punto 1, se le añaden dos nuevas columnas con valores reclasificados:

- *Efecto\_norm*: agrupa las distintas denominaciones del efecto en cuatro categorías principales. Por ejemplo, *incendi de toll*, *dard de foc* y *flamarada* se reclasifican como incendio; *núvol inflamable* y *dispersió inflamable* como nube inflamable; *explosió* se mantiene como explosión; y *dispersió tòxica* y *núvol tòxic* se agrupan como nube toxica.
- *Severidad\_max*: asigna un nivel máximo de severidad según la categoría. Las categorías se simplifican de la siguiente forma: 2 se mantiene, 3 y 3A se agrupan como 3, 3B se reclasifica como 4, y 3C como 5.

**Tabla 5. Reclasificación de valores**

Efecto original	Efecto_norm	Categoría	Severidad_max
<i>Incendi de toll, Dard de foc, flamarada</i>	Incendio	2	2
<i>Núvol inflamable, Dispersió inflamable</i>	Nube inflamable	3-3A	3
<i>Explosió</i>	Explosión	3B	4
<i>Dispersió tòxica, Núvol tòxic</i>	Nube tòxica	3C	5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT) (Generalitat de Catalunya, Departament d'Interior, Direcció General de Protecció Civil, 2015)

## 3. Digitalización de la capa de severidad

Con las distancias de Intervención y alertas definidas en el Anexo XII.2.4.1 del Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT) (Generalitat de Catalunya, 2015, pp. 192-199), para el sector de riesgo de Tarragona, se generan *buffers* circulares para cada establecimiento industrial. A cada *buffer* se le asigna el atributo *nivel*, que indica si corresponde a zona de intervención (interior) o de alerta (exterior).

Posteriormente, todas las capas de *buffer* se combinan mediante la herramienta *unir capas vectoriales* y se *disuelven* utilizando los atributos *severidad\_max* y *nivel*, obteniéndose así la capa final de severidad categorizada.

<sup>6</sup> Los accidentes que se pueden producirse en una empresa se clasifican en tres categorías:

- Categoría 1: daños materiales en la instalación accidentada, sin afección al exterior.
- Categoría 2: posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial, en el exterior, daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- Categoría 3: posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

Los de categoría 3 se subdividen en 3 tipos:

- Tipo A: afectan al establecimiento, a las estructuras y vías de comunicación próximas al polígono industrial.
- Tipo B: afectan a las zonas del entorno del establecimiento y a las vías de comunicación principales.
- Tipo C: afectan a núcleos urbanos cercanos al establecimiento. PLASEQCAT (2015), pp. 36-37.

#### 4. Cálculo de población afectada

Finalmente, se aplica la herramienta de *geoprocesamiento intersección* para cruzar la capa de población con cada una de las zonas de severidad. Este cruce espacial permite calcular el número de habitantes expuestos en cada nivel de severidad, diferenciando entre zona de intervención y zona de alerta.

##### 4.3.2 Vulnerabilidad de la población

La vulnerabilidad de la población se estima en función de la renta neta media por persona (€) dentro de las zonas de severidad 5, 4 y 3.

Para ello, se utiliza el *Atlas de Distribución de Renta de los Hogares* del Instituto Nacional de Estadística (INE), tomando como referencia las secciones censales de la provincia de Tarragona correspondientes al año 2022. Se seleccionan exclusivamente las secciones censales de los 29 municipios incluidos en la zona de afectación, mediante una selección manual de 247 series.

En *QGIS*, se introduce la capa de secciones censales del INE (2024) y, mediante la herramienta de *unión por atributos*, se incorpora a cada sección su correspondiente categoría de renta. Posteriormente, se realiza una intersección entre las secciones censales y la capa de población, de forma que a cada polígono de población se le asigna la renta. Finalmente, los valores de renta se agrupan en tres intervalos:

- Baja: 0-12.000 €.
- Media 12.000-16.000€.
- Alta 16.000-27.000 €.

##### 4.3.3 Exposición de equipamientos sensibles

Para la identificación de equipamientos sensibles se emplea la capa de equipamientos de Catalunya, proporcionada por la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana. A partir de esta base de datos, se seleccionan aquellos clasificados como vulnerables (instalaciones deportivas) y muy vulnerables (residencias, hospitales y centros educativos).

Finalmente, se cuantifica el número de equipamientos de cada tipo presentes en las distintas zonas de severidad.

#### 4.4 Evaluación de cobertura de sirenas de alerta

Para la evaluación de la cobertura de sirenas de alerta en el Camp de Tarragona se ha utilizado *QGIS* 3.40.3 “Bratislava”, aplicando herramientas de análisis espacial sobre capas oficiales y datos censales. Las fuentes principales han sido:

- La capa de cobertura de sirenas<sup>7</sup>, zonas de intervención y alerta proporcionadas por la Dirección General de Protección Civil de la Generalitat de Catalunya.
- Los polígonos de población correspondientes al año 2024, del Censo de Población y del Registro Estadístico de Territorio.

Este análisis surge a partir de una propuesta desarrollada durante las prácticas académicas realizadas en la Dirección General de Protección Civil, en el marco de la planificación del simulacro *Prova de sirenes i exercici de confinament general del sector químic del Camp de Tarragona i Terres de l'Ebre*, llevado a cabo el 29 de mayo de 2025, donde se plantea la necesidad de evaluar la cobertura de sirenas en relación con la población, con el objetivo de identificar qué parte de la población se encuentra cubierta por sirenas y cuál no, dentro de las zonas de intervención y alerta.

Los cálculos iniciales de población se realizaron sobre datos censales de 2022 y sirvieron como base para el ejercicio. Aunque el dossier fue publicado como material divulgativo, el análisis presentado en este documento ha sido actualizado y ampliado con datos de población correspondientes al año 2024, permitiendo una estimación más precisa.

Además, se ha incorporado el análisis de la población vulnerable (niños, personas mayores y mujeres) como variable complementaria para evaluar el grado de cobertura en zonas de riesgo. Este enfoque permite cuantificar la población vulnerable cubierta y no cubierta por sirenas, aportando un componente social al análisis territorial. Asimismo, se ha realizado una comparación entre los datos censales de 2022 y 2024, con el fin de detectar posibles variaciones en la distribución de la población y su impacto sobre la cobertura de sistemas de alerta.

---

<sup>7</sup>Los polígonos que definen la cobertura de sonido de cada sirena pueden variar en función del tipo de dispositivo. Los radios de cobertura pueden ser de 800 m, 400 m alrededor de la sirena, o bien unidireccionales con una distancia de 700 m y una apertura de 70°. (Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil, s. f.).

En este análisis, la mayoría de los radios utilizados corresponden a 700 m, en coherencia con los valores prevalentes en la capa trabajada.

Cabe destacar que la capa de cobertura de sirenas utilizada en este análisis no corresponde directamente con la proporcionada por la Dirección General de Protección Civil de la Generalitat de Catalunya. En la versión original, los buffers de cobertura presentaban solapamientos entre sí, lo que dificultaba una lectura precisa del área cubierta.

Para corregir esta situación, se ha trabajado sobre dicha capa aplicando herramientas de geoprocésamiento, concretamente la función *dissolver*, con el fin de eliminar las intersecciones entre círculos. Posteriormente, se ha utilizado la herramienta de geometría vectorial *círculos envolventes mínimos* para redefinir algunas formas y asegurar una representación más coherente y uniforme de las áreas de cobertura, manteniendo la lógica circular de los sistemas de alerta.

A continuación, se detallan las herramientas y expresiones utilizadas en QGIS para cada procedimiento:

- **Cobertura general de la población**

Se aplica la herramienta de *selección por localización* para identificar los polígonos de población que intersecan y están contenidos dentro de la capa de cobertura de sirenas.

- **Cobertura en la zona de intervención**

Se filtra la capa de zonas de intervención y alerta mediante el *constructor de consultas* para mantener únicamente la zona de intervención. A continuación, se utiliza la herramienta de *selección por localización* para identificar los polígonos de población que intersecan y están dentro de la zona de intervención. Una vez seleccionada esta población, se realiza una *selección dentro de la selección actual* para identificar la población que interseca y está dentro de la cobertura de sirenas.

- **Población no cubierta en la zona de intervención**

Se filtra la capa de zonas de intervención mediante el *constructor de consultas* para mantener únicamente dicha categoría. A continuación, se utiliza la herramienta de *selección por localización* para identificar los polígonos de población que no intersecan con la cobertura de sirenas, obteniendo así toda la población situada fuera del alcance del sistema de alerta. Una vez realizada esta selección, se aplica una *nueva selección dentro de la selección actual* para identificar los polígonos que intersecan y están dentro de la zona de intervención, aislando exclusivamente la población no cubierta por sirena dentro de la zona de intervención.

- **Propuesta de nueva cobertura de sirena**

Se focaliza la población que no está cubierta por sirenas dentro de la zona de intervención, digitalizando una nueva área de cobertura con el objetivo de incluir a los sectores actualmente no alcanzados por el sistema de aviso acústico.

- **Población no cubierta en la zona de alerta:**

Se seleccionan los polígonos de población que no intersecan con la cobertura de sirenas, obteniendo así toda la población situada fuera del alcance de los sistemas de alerta. A continuación, se *eliminan de esta selección* los polígonos que intersecan y están dentro de la zona de intervención. Finalmente, se realiza una *selección dentro de la selección actual* para identificar los polígonos que intersecan y están dentro de la zona de alerta, obteniendo así la población no cubierta por sirenas en la zona de alerta.

#### 4.5 Simulación de escenarios de accidentes químicos

Para la simulación de escenarios se emplea *ALOHA 5.4.7 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)*, desarrollado por la U.S Environmental Protection Agency (EPA) y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), ampliamente usado en estudios de planificación de emergencias y en la modelización de liberaciones accidentales de sustancias químicas.

Su integración con sistemas de información geográfica (SIG) permite representar espacialmente las zonas de afectación y evaluar la exposición de la población y de equipamientos sensibles. Diversos estudios han empleado *ALOHA* y *SIG* para simular escenarios de dispersión tóxica, incendios o explosiones, delimitando áreas de riesgo y analizando la vulnerabilidad de la población (Li et al., 2010; Yoo y Choi, 2019; Cetinyokus et al., 2024).

La simulación se fundamenta en los criterios establecidos por la *Directriz Básica de Protección Civil para accidentes graves* (RD 1996/2003) y la *Guía Técnica de Zonas de Planificación para Accidentes Tóxicos* (Protección Civil, 2003), que definen la metodología para delimitar zonas de intervención y zonas de alerta en función de los niveles de daño esperados.

A partir de la Tabla 29 incluida en el Anexo 1<sup>8</sup> (establecimientos industriales, sustancias, efectos y clasificación de severidad) se identifican múltiples instalaciones de nivel alto con potencial de generar nubes tóxicas. Entre ellas, se seleccionan únicamente aquellas clasificadas con severidad máxima (nivel 5), dado que representan los escenarios de mayor riesgo por su posible afectación a núcleos urbanos próximos.

---

<sup>8</sup> Los datos utilizados para la simulación no son actuales, corresponden al Anexo XII.2.4.1 del *Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT)* (Generalitat de Catalunya, 2015, pp. 192-199), para el sector de riesgo de Tarragona.

Estas incluyen:

- Asfaltos Españoles S.A. (polígono sur este)
- Basf Española S.L. (CIP) (polígono sur centro)
- Clariant Ibérica Producción S.A. (polígono sur oeste)
- Repsol Petróleo S.A. (polígono norte)
- Repsol Química S.A. (polígono norte)
- Sociedad Española de Carburos Metálicos S.A. (polígono norte)
- Terminales Portuarias S.L. (puerto de Tarragona/sur este)

De estas instalaciones, se selecciona Clariant Ibérica Producción S.A., ubicada en el polígono sur de la Canonja, como escenario representativo por las siguientes razones:

1. Maneja dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), sustancia clasificada como tóxica (categoría 2, según el Real Decreto 1254/2015, Anexo I, parte 2).
2. El efecto asociado es la formación de nube tóxica, considerada la de mayor alcance y severidad.
3. El escenario se clasifica como de severidad 5, al afectar a núcleos urbanos próximos y provocar la formación de una nube tóxica.
4. Dentro de los iniciadores<sup>9</sup> contemplados en la Instrucción 11/2010 SIE, se selecciona la hipótesis de fuga en el fondo de tanque (rotura total), con liberación instantánea de 852 kg de SO<sub>2</sub> (equivalente a 624 litros). La estimación de consecuencias se realiza siguiendo las referencias de la *Taula de conseqüències per determinades substàncies del RD 1254/1999*, incluida en el *Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT)* (Generalitat de Catalunya, 2015, p. 146).

Los parámetros atmosféricos se introducen en ALOHA de forma manual, considerando condiciones meteorológicas estándar utilizadas en planificación: estabilidad D (neutra) y velocidad del viento de 5 m/s, procedente del suroeste (225°). La dispersión se modela en modo *heavy gas*, adecuado para el comportamiento del dióxido de azufre al ser más denso que el aire.

Para la interpretación de los resultados, se emplean los índices toxicológicos AEGL (*Acute Exposure Guideline Levels*)<sup>10</sup>, ampliamente utilizados en planificación de emergencias por su capacidad para establecer umbrales de riesgo para la salud humana.

---

<sup>9</sup> “Evento interno o externo anómalo que puede conducir a un accidente. Un ejemplo de suceso iniciador sería la avería de un sistema de refrigeración, una fuga, etc. Un iniciador de fuga de un producto inflamable puede dar lugar a un accidente de tipo llamarada según las condiciones en las que se produzca” (Generalitat de Catalunya, 2008, p. 33).

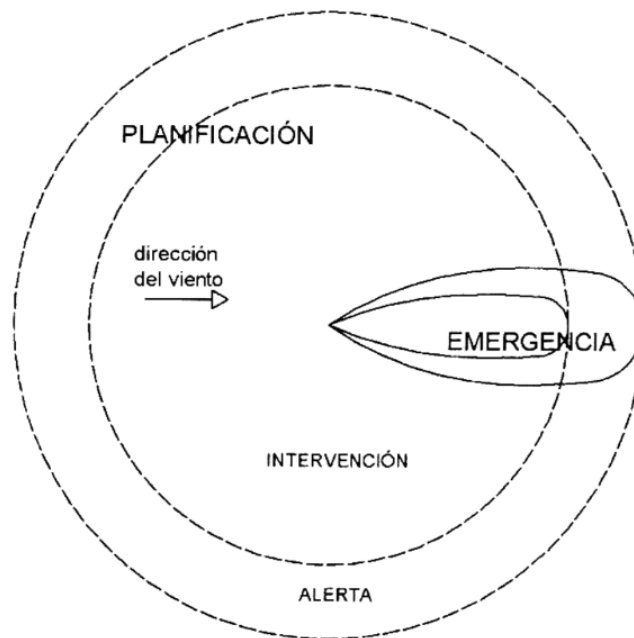
<sup>10</sup> Los AEGL se dividen en tres umbrales:

La *Guía Técnica de Protección Civil* (Ministerio del Interior, 2003) unifica estos índices para la planificación, estableciendo que la zona de intervención corresponde al nivel de daño 2 (efectos graves o irreversibles), mientras que la zona de alerta se asocia al nivel de daño 1 (molestias notables o malestar transitorio).

La simulación realizada con *ALOHA*, basada en parámetros normativos y condiciones meteorológicas estándar, permite obtener un escenario representativo de accidente químico por liberación de dióxido de azufre. A partir de esta simulación, se procede a la integración de los resultados en un Sistema de Información Geográfico (*QGIS*), con el fin de delimitar espacialmente las zonas de afectación, estimar la población expuesta y localizar equipamientos sensibles.

A efectos de planificación, y dado que no es posible conocer a priori la dirección del viento ni el desplazamiento exacto de la nube tóxica, las zonas de intervención (AEGL-2) y alerta (AEGL-1) se representan mediante áreas circulares, como se ilustra en la Figura 5. Los radios de estas zonas se hacen coincidir con las distancias máximas alcanzadas por las isolíneas de concentración simuladas en *ALOHA*, siguiendo el criterio establecido en la *Guía Técnica de Protección Civil* (2003, p. 88).

**Figura 5. Ilustración de las zonas de intervención y alerta para nubes tóxicas**



*Fuente: Ministerio del Interior, Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2003, p. 89)*

---

AEGL-1: molestias leves y transitorias (olor, irritación sensorial); AEGL-2: efectos graves o irreversibles que dificultan la huida; AEGL-3: amenaza para la vida o riesgo de muerte (Generalitat de Catalunya, Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2003, p. 85).

## 5. Análisis de resultados

Este capítulo presenta los resultados del análisis espacial aplicado al riesgo químico en el Camp de Tarragona, con especial atención a la exposición y vulnerabilidad de la población frente a posibles accidentes industriales. A partir de los procedimientos descritos en la metodología, se evalúan distintos componentes territoriales clave que permiten definir el impacto potencial de los focos de riesgo.

En primer lugar, se analiza la delimitación de las zonas de intervención y alerta, establecidas según criterios técnicos definidos en la normativa estatal y autonómica. Esta delimitación constituye la base para la construcción de la capa de severidad, que permite representar espacialmente el alcance de los escenarios de riesgo.

A continuación, se estudia la exposición de la población, tanto en función de la distancia a los focos industriales como del número de habitantes afectados en cada nivel de severidad. Este análisis se complementa con la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica, considerando la renta neta media por persona, y con la identificación de equipamientos sensibles.

El capítulo también incluye una evaluación de la cobertura poblacional del sistema de sirenas de alerta, analizando su alcance en las zonas de intervención y alerta, así como la población no cubierta y la propuesta de nuevas ubicaciones.

Finalmente, se presentan los resultados de la simulación de escenarios de accidentes químicos, mediante el uso de *ALOHA* y el análisis espacial en *QGIS*. Este procedimiento permite estimar la población expuesta según niveles AEGL y analizar la afectación sobre equipamientos sensibles.

En los apartados siguientes se desarrollan estos ejes temáticos con detalle, combinando análisis cuantitativo, representación cartográfica y criterios técnicos, lo que permite obtener una visión integrada del riesgo químico en el Camp de Tarragona.

## 5.1 Delimitación de zonas de afectación: intervención y alerta

El análisis de los documentos revisados refleja que la delimitación de las zonas de intervención y alerta responde a criterios técnicos establecidos tanto en la normativa estatal como en la planificación autonómica.

En primer lugar, la *Directriz Básica de Protección civil* (2011, p. 27) establece que los planes de emergencia exterior, que establecen las medidas de prevención, deben determinar las zonas de intervención y alerta. Estas se delimitan a partir de valores umbral de efectos sobre la salud, el medio ambiente y los bienes, teniendo en cuenta los escenarios accidentales descritos en los informes de seguridad industrial. Entre dichos umbrales se incluyen parámetros como la onda expansiva, el impulso de proyectiles, la dosis de radiación térmica y las concentraciones de sustancias tóxicas en el aire, según índices como AEGL (p. 14-15).

La *Guía para la ordenación territorial* (2010, p. 21) señala que dichas zonas se calculan en función de la distancia a la que una magnitud relevante, como la concentración tóxica en aire durante un tiempo de exposición, alcanza un umbral correspondiente al inicio del efecto no deseado, como daños irreversibles sobre la salud o la muerte. El modelado se realiza bajo hipótesis de accidente representativas, considerando tanto el peor caso concebible como un caso medio neutral.

Por su parte, la *Guía de criteris per a la planificació del territori* (2007, p. 6-7) indica que la mayoría de los países de la Unión Europea siguen un procedimiento similar: Se plantean hipótesis de accidentes, se calculan los efectos mediante la determinación de valores límite de daño y se comparan con la localización de elementos vulnerables. En el caso de Catalunya, se indica que se ha optado por un modelo probabilista basado en el cálculo de riesgo, con apoyo en el Análisis cuantitativo de Riesgo (AQR), que constituye la base para el diseño de los planes de emergencia exterior.

El *Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PIASEQCAT)* (Generalitat de Catalunya, 2024, p. 21) concreta que las zonas de afectación se definen a partir de las evaluaciones incluidas en los informes de seguridad industrial, incorporadas como anexos al plan. Estas evaluaciones permiten delimitar espacialmente las zonas de intervención y alerta máxima en función del riesgo potencial y del tipo de efecto esperado.

Finalmente, los metadatos de la cartografía oficial señalan que la capa *zones d'intervenció i alerta màximes* delimita las zonas máximas asociadas a cada establecimiento industrial. En los casos en que varios establecimientos se encuentran próximos, las zonas se solapan y se unifican, delimitando un área conjunta de intervención y alerta.

En resumen, la delimitación de las zonas de intervención y alerta se basa en valores umbrales, escenarios accidentales definidos en los informes de seguridad, y un análisis probabilístico del riesgo (AQR), que se utiliza como base para el diseño de los planes de emergencia exterior.

## 5.2 Exposición y vulnerabilidad de la población

Este capítulo presenta los resultados del análisis espacial aplicado a la exposición y vulnerabilidad de la población en la industria química en el Camp de Tarragona. A partir de los procedimientos descritos en la metodología, se evalúa la relación entre los focos de riesgo industrial y la población, considerando la distancia y, por otro lado, la población expuesta en las zonas de severidad. Asimismo, se analiza la vulnerabilidad socioeconómica de la población en función de la renta neta media por persona, y se identifican los equipamientos sensibles localizados en zonas de riesgo.

### 5.2.1 Exposición de la población

Este apartado presenta los resultados del análisis espacial de exposición, centrado en la relación entre los focos de riesgo industrial y la población del Camp de Tarragona. Se detallan las distancias entre centros poblados y establecimientos de riesgo, así como la cuantificación de la población expuesta en cada tramo.

#### 5.2.1.1 Distancia de centros poblados a focos de riesgo

La matriz de distancias generada entre la población y los establecimientos industriales de nivel alto permite analizar la exposición en función de la proximidad. Según los datos recogidos en la Tabla 6, el 82,2 % de la población se encuentra a más de 5 km de estos focos de riesgo, lo que sugiere una baja exposición en caso de accidente en la mayor parte del territorio.

En contraste, se identifican 40.194 habitantes (17,9 %) dentro del rango de 0 a 5 km. En particular, los tramos comprendidos entre 1 y 5 km concentran las áreas de población más cercanas, destacando especialmente los intervalos de 3-4 km (5,2 %) y 4-5 km (5,3 %). Aun así, se contabilizan 481 personas que residen a menos de 1 km de distancia de las industrias, lo que representa el grupo con mayor nivel de exposición directa.

**Tabla 6. Población residente en cada tramo de distancias de riesgo**

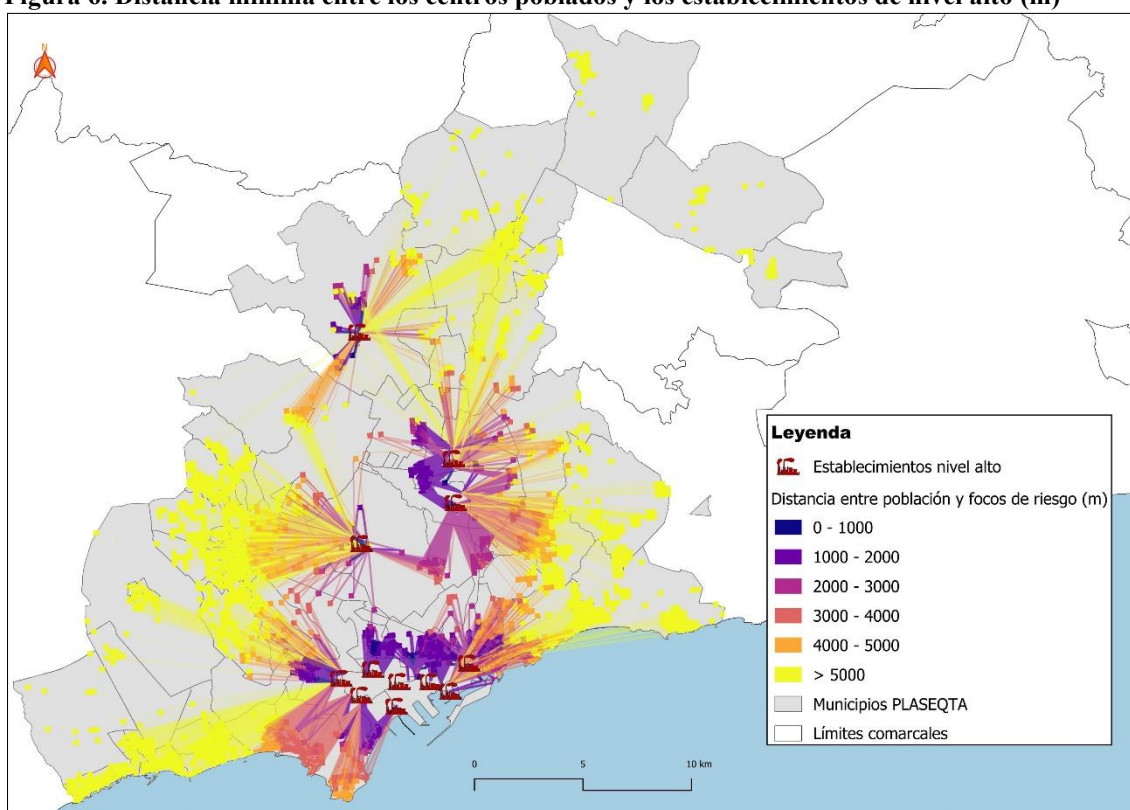
Tramo de distancias (m)	Habitantes	%
0-1000	481,0	0,2
1000-2000	5.993,0	2,7
2000-3000	10.072,0	4,5
3000-4000	11.682,0	5,2
4000-5000	11.966,0	5,3
>5000	185.951,0	82,2
<b>Total</b>	<b>226.145,0</b>	<b>100,0</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

Este análisis se complementa con la representación espacial de las líneas más cortas entre objetos, que permite visualizar la proximidad entre la población y los focos de riesgo (Figura 6). Estas líneas se clasifican por tramos de distancias en metros y se simbolizan mediante una escala de color y grosor.

La combinación entre la tabla cuantitativa y el mapa facilita la identificación de las zonas del territorio con mayor exposición de la población al riesgo químico. Al analizar específicamente el tramo de menor distancia (0-1 km), se identifican poblaciones ubicadas en la zona más próxima a los focos de riesgo. En este grupo destacan municipios como Alcover, Constantí, el Morell, la Canonja, la Pobra de Mafumet, Tarragona y Vila-seca.

**Figura 6. Distancia mínima entre los centros poblados y los establecimientos de nivel alto (m)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.2.1.2 Población expuesta y grados de severidad

El análisis de exposición se complementa con la evaluación de la población afectada según los distintos niveles de severidad definidos previamente en la metodología. Cada nivel representa un grado de impacto potencial sobre la población y el territorio.

Antes de presentar la Figura 7 (mapa de severidad por categorías de accidente), es importante señalar que los *buffers* de severidad representados en el mapa se construyen a partir de las distancias máximas de zona de intervención (ZI) y zona de alerta (ZA) definidas en el *ACORD GOV/29/2015, de 3 de març*, por el cual se aprueba la revisión del *Pla especial d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT)*.

Estas distancias se aplican como *buffers* circulares en torno a los establecimientos industriales de nivel alto, según el tipo de efecto asociado (nube tóxica, explosión, incendio) y la categoría de accidente correspondiente.

La clasificación de severidad se ha simplificado en cuatro niveles, agrupando las categorías en función del impacto territorial. Por ejemplo, las nubes tóxicas tipo 3C se corresponden con el nivel de severidad 5, que implica afectación directa a núcleos urbanos próximos, mientras que los incendios localizados se asocian al nivel 2, con un alcance más limitado.

Este enfoque metodológico, desarrollado previamente en el apartado 4.3.1.2, permite construir una capa categorizada de severidad construida a partir de 30 establecimientos industriales de nivel superior incluidos en el sector de riesgo de Tarragona, reflejando el alcance potencial de cada escenario de riesgo. La representación espacial obtenida no es arbitraria, sino que responde a criterios oficiales y constituye la base para el análisis de población expuesta que se presenta en los apartados siguientes.

Los niveles de severidad se asocian a distintos tipos de accidente químico y presentan los siguientes valores máximos de alcance territorial. (Véase Tabla 29 del Anexo 1).

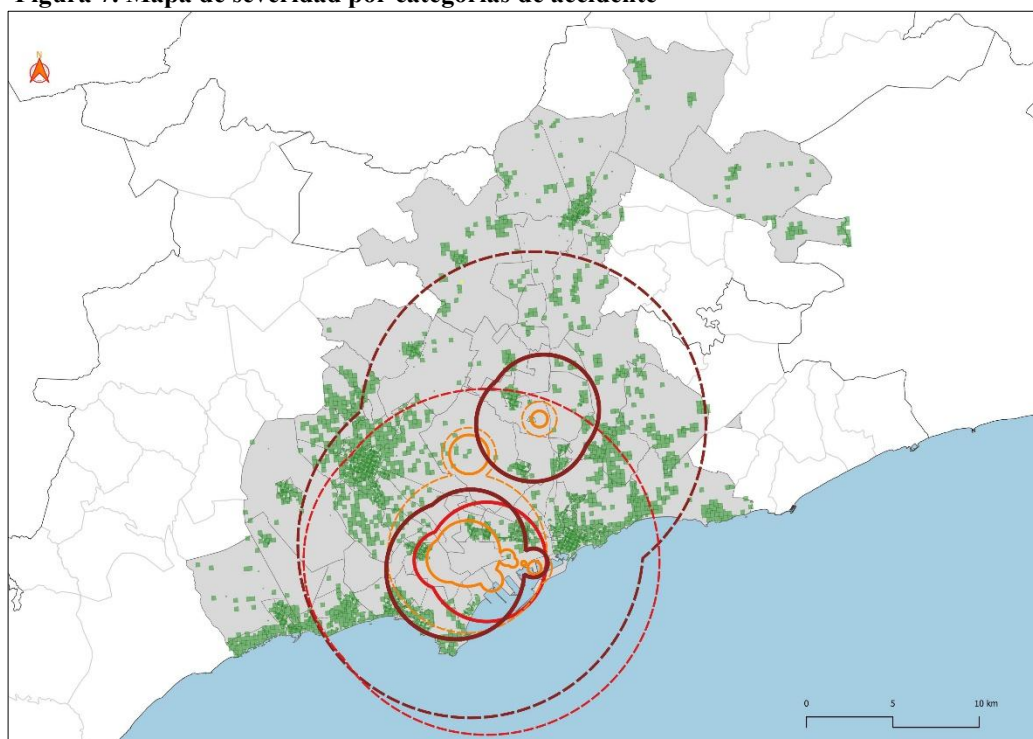
- Severidad 2: incendios, con distancias máximas de 16 m (ZA) y 13 m (ZI).
- Severidad 3: incluye explosiones, nubes inflamables y nubes tóxicas tipo 3A, con distancias de hasta 4.600 m (ZA) y 1.900 m (ZI).
- Severidad 4: nubes tóxicas tipo 3B y explosiones, con distancias de hasta 10.000 m (ZA) y 3.450 m (ZI)
- Severidad 5: nubes tóxicas tipo 3C con distancias máximas de 10.000 m (ZA) y 4.000 m (ZI).

La figura 7 muestra la distribución territorial de las zonas de severidad, representadas mediante una paleta de colores gradual. Cada nivel corresponde a un tipo de accidente químico y ha sido delimitado según las distancias máximas de zona de intervención y alerta aplicadas en la capa de severidad. El nivel más bajo de severidad (nivel 2, en amarillo), aunque apenas visible en el mapa debido a su reducida área de influencia, se localiza en el municipio de Alcover e indica posibles víctimas y daños materiales limitados, fundamentalmente en el interior de la instalación industrial.

El nivel 3 (naranja) corresponde a posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales extensas. El nivel 4 (rojo) representa la afectación al entorno del establecimiento y a las vías principales. Finalmente, el nivel de severidad 5 (granate) señala la afectación a núcleos urbanos próximos.

Cada nivel incluye una zona de intervención (interior) y una zona de alerta (exterior), que permiten diferenciar el grado de exposición. La zona de intervención representa el área de mayor riesgo, y coincide con la concentración de polígonos industriales, especialmente en los entornos de Tarragona, Vila-seca, la Canonja, el polígono petroquímico sur y el polígono norte. En cambio, la zona de alerta se extiende hacia municipios más alejados, donde la exposición al riesgo químico es menor pero aún relevante para determinados grupos vulnerables.

**Figura 7. Mapa de severidad por categorías de accidente**



**Leyenda**

Nivel de severidad

- (ZI) Severidad 2: Víctimas y daños materiales en industria; daños leves exterior
- (ZA) Severidad 2: Víctimas y daños materiales en industria; daños leves exterior
- (ZI) Severidad 3: Posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales graves en zonas extensas
- (ZA) Severidad 3: Posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales graves en zonas extensas
- (ZI) Severidad 4: Afectación al entorno establecimiento y vías principales
- (ZA) Severidad 4: Afectación al entorno establecimiento y vías principales
- (ZI) Severidad 5: Afectación a núcleos urbanos próximos
- (ZA) Severidad 5: Afectación a núcleos urbanos próximos
- Población
- Municipios PLASEQTA

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT) (Generalitat de Catalunya, Departament d'Interior, Direcció General de Protecció Civil, 2015)*

A continuación, se presentan los resultados de población<sup>11</sup> expuesta en los distintos niveles de severidad, con especial atención a los grupos vulnerables. La zona de intervención correspondiente al nivel de severidad 5, la más alta, asociada a la afectación de núcleos urbanos próximos, concentra un total de 108.829 personas expuestas, distribuidas entre varios municipios del Camp de Tarragona. La Tabla 7 desglosa esta población por municipios y por grupos especialmente sensibles: menores de 15 años, mayores de 65 años y mujeres.

Entre los municipios más afectados destacan Tarragona (35% de la población expuesta), Vila-seca (21,8 %) y Salou (19 %), que en conjunto agrupan más del 75 % del total. Estos municipios también concentran las cifras más elevadas en los grupos de riesgo. Por ejemplo, en Tarragona se contabilizan 5.844 menores de 15 años, 5.395 mayores y 18.776 mujeres dentro de la zona de severidad 5.

Además, otros núcleos relevantes, por su proximidad directa a los focos de riesgo, la Canonja, Constantí, el Morell y la Pobla de Mafumet, también se encuentran dentro de la zona de intervención. Aunque su población es menor en comparación con los grandes municipios, presentan cifras significativas en los grupos vulnerables. Por ejemplo:

- Constantí: 908 menores, 816 mayores, 3.387 mujeres.
- el Morell: 463 menores, 385 mayores, 1.972 mujeres.
- la Canonja: 736 menores; 899 mayores, 3.198 mujeres.
- la Pobla de Mafumet: 574 menores, 275 mayores, 2.222 mujeres.

**Tabla 7. Población en la zona de intervención de severidad 5, por grupos de riesgo. (2024)**

Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Constantí	6.921,0	6,4	908,0	6,4	816,0	6,1	3.387,0	6,3
Morell, El	4.063,0	3,7	463,0	3,2	385,0	2,9	1.972,0	3,7
Garidells, Els	185,0	0,2		0,0		0,0	96,0	0,2
Pallaresos, Els	2.302,0	2,1	403,0	2,8	249,0	1,9	1.105,0	2,1
Canonja, La	6.247,0	5,7	736,0	5,2	899,0	6,7	3.198,0	6,0
Pobla de Mafumet, La	4.522,0	4,2	574,0	4,0	275,0	2,1	2.222,0	4,1
Secuita, La		0,0		0,0		0,0		0,0
Perafort	1.432,0	1,3	122,0	0,9	123,0	0,9	689,0	1,3
Reus		0,0		0,0		0,0		0,0
Salou	20.681,0	19,0	2.089,0	14,7	2.168,0	16,3	10.118,0	18,9
Tarragona	38.135,0	35,0	5.844,0	41,0	5.395,0	40,5	18.776,0	35,0
Vilallonga del Camp	666,0	0,6	59,0	0,4	56,0	0,4	321,0	0,6
Vila-seca	23.675,0	21,8	3.051,0	21,4	2.953,0	22,2	11.765,0	21,9
<b>Total</b>	<b>108.829,0</b>	<b>100,0</b>	<b>14.249,0</b>	<b>100,0</b>	<b>13.319,0</b>	<b>100,0</b>	<b>53.649,0</b>	<b>100,0</b>

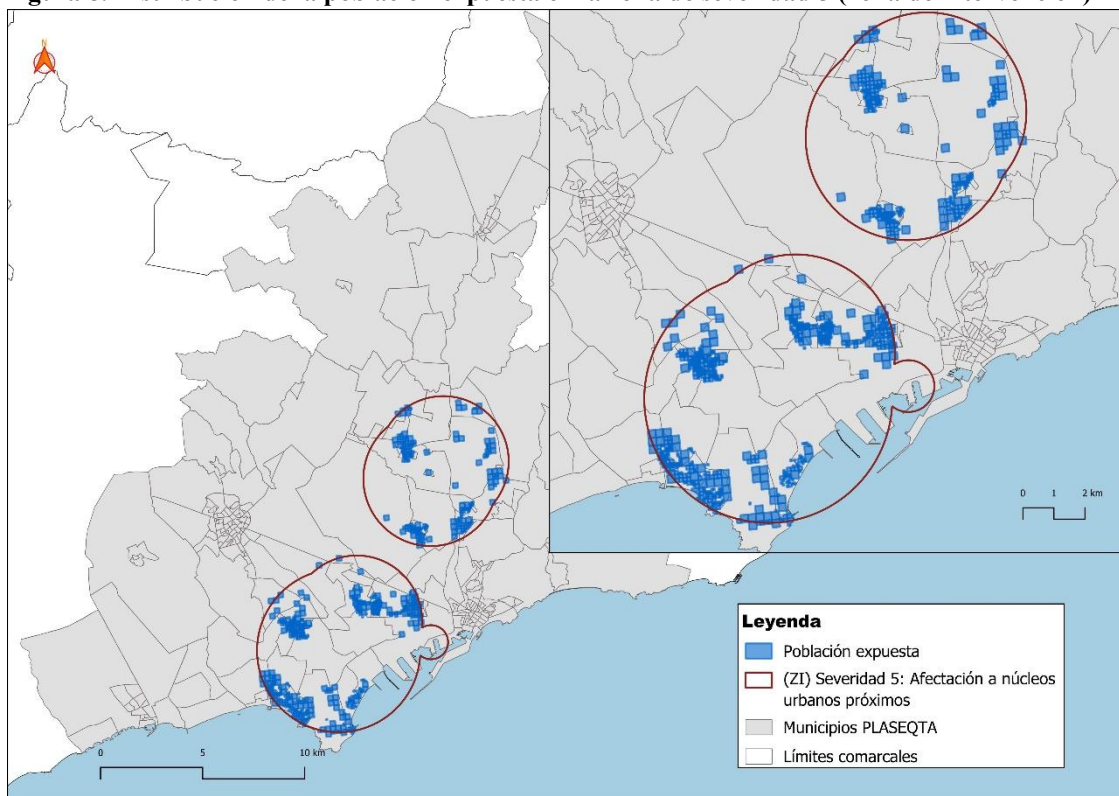
Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

<sup>11</sup> La capa de población utilizada proviene de la agregación espacial de puntos geocodificados mediante un quadtree de resolución máxima (62,5 metros), con un umbral mínimo de 17 habitantes. Según los metadatos oficiales, en los casos en que la población es inferior a dicho umbral, los valores asociados aparecen como nulos. (Cens de població i Registre Estadístic de Territori – RET, 2023-2024).

Esta condición afecta principalmente a áreas dispersas o de baja densidad. Por este motivo, tanto en esta tabla como en las siguientes pueden aparecer celdas en blanco.

La Figura 8 muestra la distribución territorial de esta población expuesta en la zona de severidad 5, permitiendo identificar con claridad las áreas más densamente afectadas.

**Figura 8. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 5 (zona de intervención)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

En paralelo al análisis de la zona de intervención, se ha evaluado la población expuesta en la zona de alerta correspondiente al nivel de severidad 5. Esta zona de alerta representa el área exterior de influencia de un posible accidente grave, en la que los efectos que, aunque perceptibles por la población, no requieren intervención directa, salvo en el caso de los grupos especialmente vulnerables.

Según los resultados obtenidos, un total de 367.360 personas se encuentran dentro de esta zona de alerta. La Tabla 8 presenta la distribución de esta población por municipios, así como por grupos sensibles: menores de 15 años, personas mayores de 65 años y mujeres.

Destacan especialmente los municipios de Tarragona (37,9 % de la población expuesta), Reus (29,8 %) y Vila-seca (6,8 %), que en conjunto concentran casi tres cuartas partes del total. Estos municipios también registran los valores absolutos más elevados en los grupos de riesgo. Por ejemplo:

- Tarragona: más de 17.000 menores de 15 años, cerca de 24.400 mayores y más de 71.000 mujeres.
- Reus: 14.597 menores, más de 18.000 mayores y 56.000 mujeres
- Vila-seca: 3.183 menores, 3.029 mayores de 65 años y más de 12.000 mujeres.

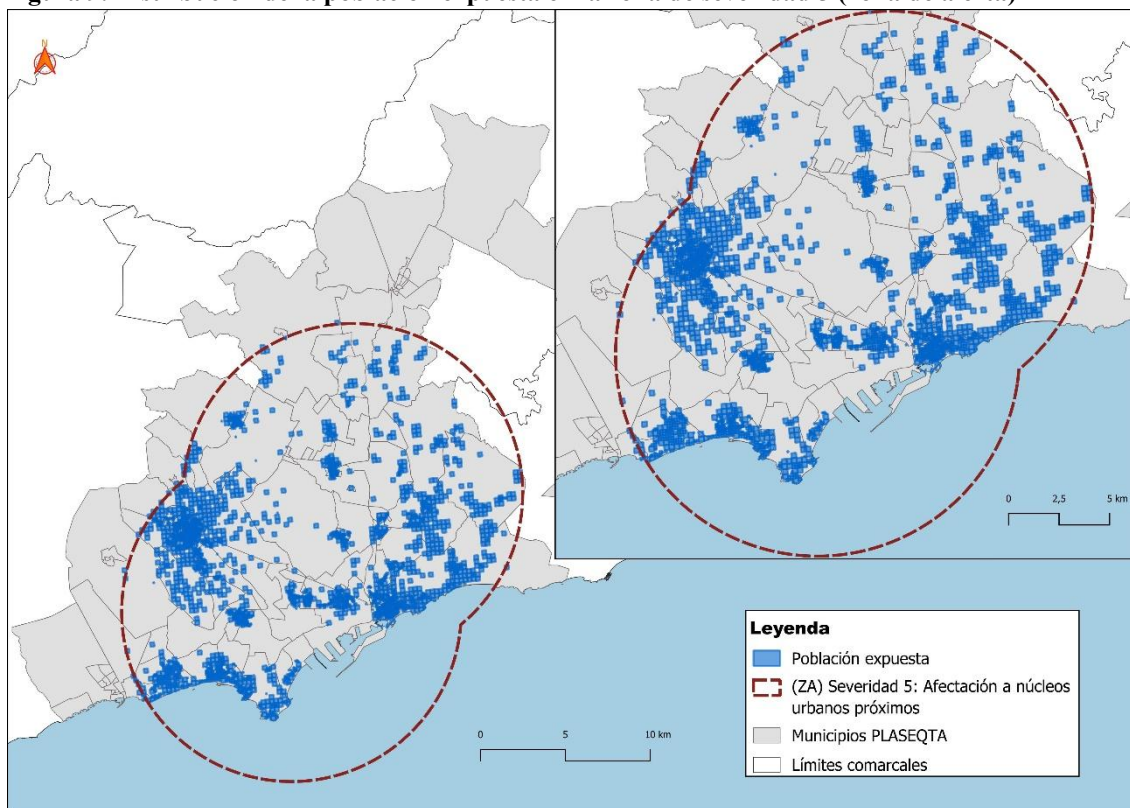
**Tabla 8. Población en la zona de alerta de severidad 5, por grupos de riesgo. (2024)**

Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Alcover	418,0	0,1	46,0	0,1	52,0	0,1	215,0	0,1
Almóster	1.091,0	0,3	110,0	0,2	152,0	0,3	540,0	0,3
Cambrils	10.575,0	2,9	1.016,0	2,2	884,0	1,6	5.296,0	2,8
Castellvell del Camp	953,0	0,3	119,0	0,3	160,0	0,3	473,0	0,3
Constantí	6.941,0	1,9	908,0	2,0	816,0	1,5	3.395,0	1,8
Catllar, El	5.874,0	1,6	534,0	1,2	539,0	1,0	2.825,0	1,5
Milà, El	178,0	0,0	21,0	0,0	27,0	0,0	89,0	0,0
Morell, El	4.063,0	1,1	463,0	1,0	385,0	0,7	1.972,0	1,1
Rourell, El	403,0	0,1	36,0	0,1	45,0	0,1	198,0	0,1
Garidells, Els	241,0	0,1	7,0	0,0	9,0	0,0	129,0	0,1
Pallaresos, Els	7.160,0	1,9	870,0	1,9	629,0	1,1	3.484,0	1,9
Canonja, La	6.247,0	1,7	736,0	1,6	899,0	1,6	3.198,0	1,7
Masó, La	333,0	0,1	26,0	0,1	66,0	0,1	162,0	0,1
Pobla de Mafumet, La	4.522,0	1,2	574,0	1,3	275,0	0,5	2.222,0	1,2
Secuita, La	2.523,0	0,7	272,0	0,6	240,0	0,4	1.247,0	0,7
Selva del Camp, La	5.892,0	1,6	629,0	1,4	762,0	1,4	2.938,0	1,6
Perafort	1.432,0	0,4	122,0	0,3	123,0	0,2	689,0	0,4
Reus	109.320,0	29,8	14.597,0	32,2	18.296,0	32,9	56.090,0	30,1
Riudoms	134,0	0,0	16,0	0,0	14,0	0,0	63,0	0,0
Salou	30.975,0	8,4	3.113,0	6,9	3.316,0	6,0	15.233,0	8,2
Tarragona	139.193,0	37,9	17.483,0	38,5	24.392,0	43,9	71.356,0	38,3
Vallmoll	1.614,0	0,4	184,0	0,4	217,0	0,4	808,0	0,4
Valls		0,0		0,0		0,0		0,0
Vilallonga del Camp	2.422,0	0,7	336,0	0,7	262,0	0,5	1.187,0	0,6
Vila-seca	24.815,0	6,8	3.183,0	7,0	3.029,0	5,4	12.327,0	6,6
Vinyols i els Arcs	41,0	0,0		0,0		0,0	19,0	0,0
<b>Total</b>	<b>367.360,0</b>	<b>100,0</b>	<b>45.401,0</b>	<b>100,0</b>	<b>55.589,0</b>	<b>100,0</b>	<b>186.155,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Figura 9 permite visualizar espacialmente la distribución de esta población en el territorio, mostrando la extensión de la zona de alerta y su superposición con las áreas habitadas.

**Figura 9. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 5 (zona de alerta)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

En el nivel de severidad 4, correspondiente a la afectación del entorno del establecimiento y de las vías principales, la población expuesta en la zona de intervención asciende a un total de 61.379 personas. Esta cifra representa una disminución respecto al total registrado en la zona de intervención de nivel 5, debido a su menor área de influencia.

Tal como se muestra en la Tabla 9, el municipio más afectado es Tarragona, con 36.977 personas (60,2 % del total), seguido de Vila-seca con 17.652 habitantes (28,8 %) y la Canonja con 6.247 personas (10,2 %). Estos tres municipios concentran la totalidad de la población expuesta en esta categoría, lo que evidencia su proximidad a los focos industriales del complejo petroquímico sur.

En cuanto a los grupos vulnerables, se contabilizan 8.704 menores de 15 años, 8.553 personas mayores de 65 años y 30.362 mujeres. Tarragona presenta los valores absolutos más elevados en todos los grupos: 5.599 menores, 5.386 mayores y 18.156 mujeres. Le siguen Vila-seca, con 2.316 menores, 2.227 mayores y 8.737 mujeres, y la Cononja, con cifras más moderadas pero relevantes dentro del contexto del análisis: 789 menores, 940 mayores y 3.469 mujeres.

**Tabla 9. Población en la zona de intervención de severidad 4, por grupos de riesgo. (2024)**

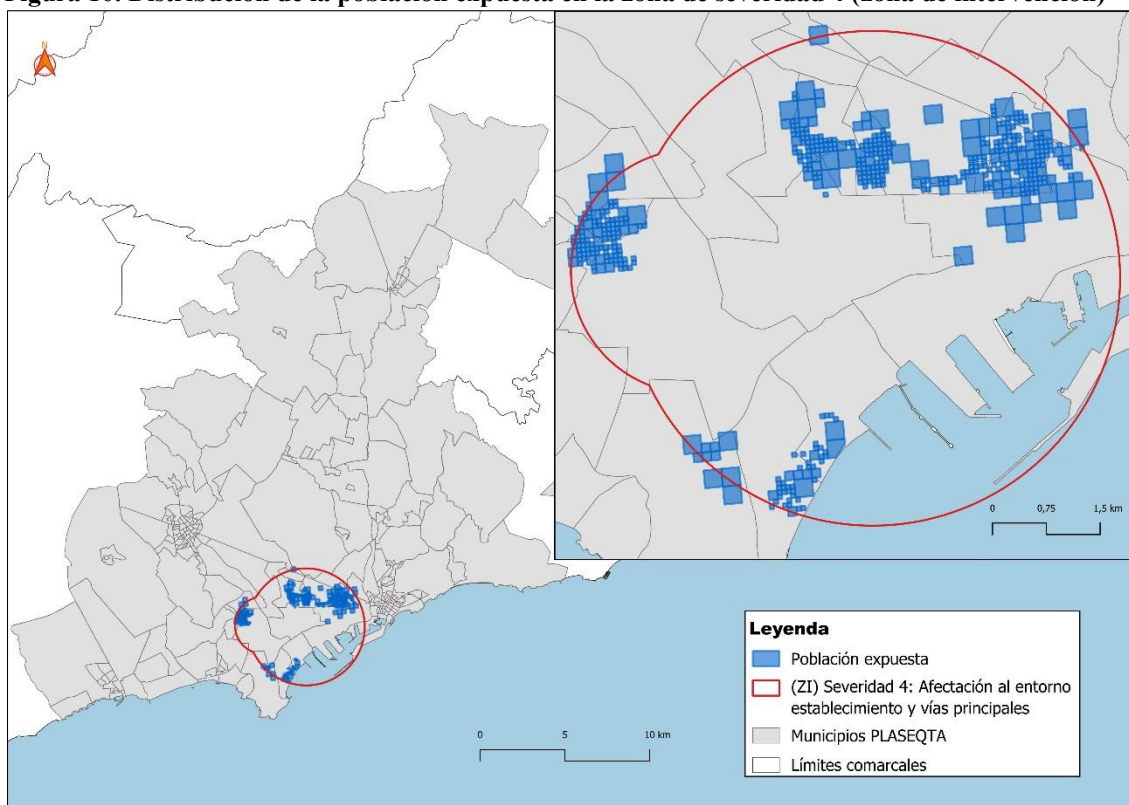
Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Constantí		0,0		0,0		0,0		0,0
Canonja, La	6.247,0	10,2	736,0	8,5	899,0	10,5	3.198,0	10,5
Reus		0,0		0,0		0,0		0,0
Salou	503,0	0,8	53,0	0,6	41,0	0,5	271,0	0,9
Tarragona	36.977,0	60,2	5.599,0	64,3	5.386,0	63,0	18.156,0	59,8
Vila-seca	17.652,0	28,8	2.316,0	26,6	2.227,0	26,0	8.737,0	28,8
<b>Total</b>	<b>61.379,0</b>	<b>100,0</b>	<b>8.704,0</b>	<b>100,0</b>	<b>8.553,0</b>	<b>100,0</b>	<b>30.362,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET)

(Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Figura 10 representa la distribución espacial de la población expuesta en esta zona de intervención, reflejando su concentración en el entorno del polígono sur y a lo largo del eje urbano que conecta Tarragona, Vila-seca y la Canonja.

**Figura 10. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 4 (zona de intervención)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET)

(Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

En el nivel de severidad 4 correspondiente a la zona de alerta, donde los efectos de un posible accidente podrían afectar al entorno de los establecimientos industriales y las vías principales, se contabiliza una población expuesta de 334.752 personas. Esta cifra representa un incremento considerable respecto a la zona de intervención del mismo nivel, debido a su mayor zona de influencia.

Tal como se recoge en la Tabla 10, los municipios con mayor población expuesta en esta zona de alerta son Tarragona (41,4 %), Reus (30,4 %) y Vila-seca (7,4 %), que en conjunto concentran cerca del 80 % del total. Estos municipios presentan también los valores absolutos más elevados en los grupos vulnerables.

- Tarragona: 17.429 menores de 15 años, 24.278 personas mayores de 65 años y 70.971 mujeres.
- Reus: 13.497 menores, 17.194 mayores y 52.223 mujeres.
- Vila-seca: 3.183 menores, 3.029 mayores y 12.327 mujeres.

También destacan, aunque con valores más reducidos Salou, Constantí, la Canonja, la Pobla de Mafumet y el Morell, debido a su cercanía con los focos industriales.

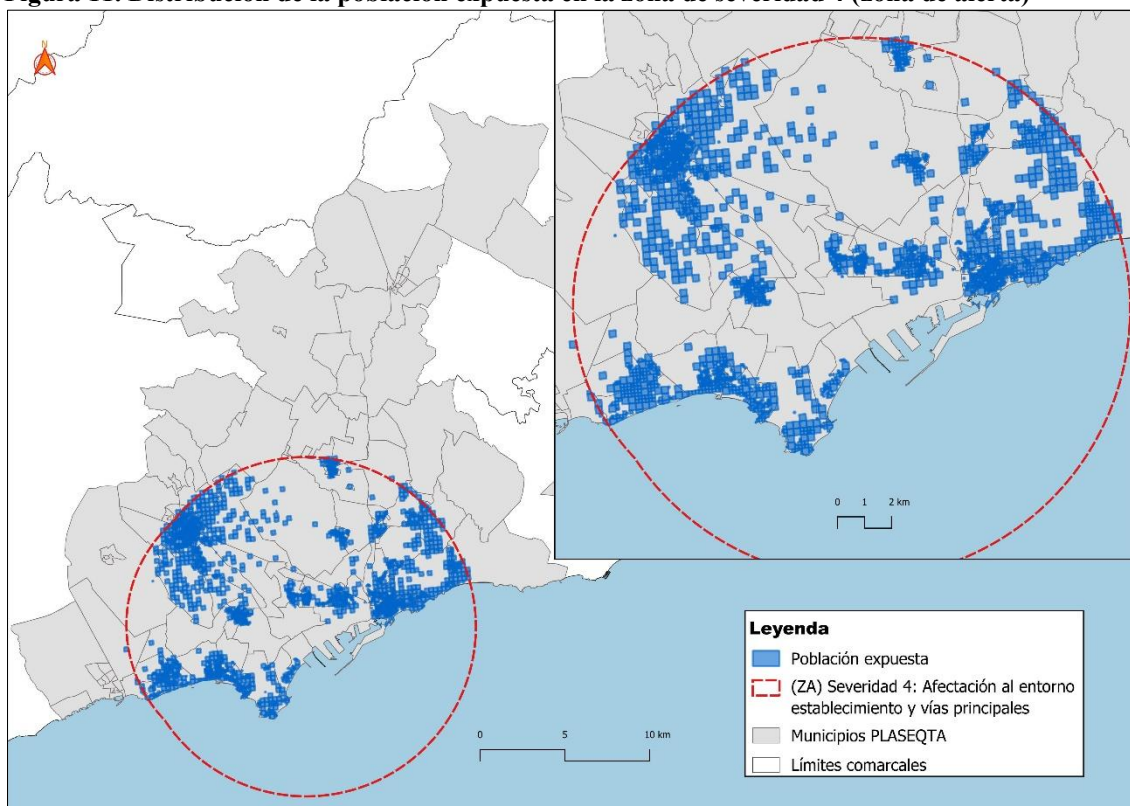
**Tabla 10. Población en la zona de alerta de severidad 4, por grupos de riesgo. (2024)**

Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Cambrils	10.045,0	3,0	960,0	2,3	815,0	1,6	5.037,0	3,0
Canonja, La	6.247,0	1,9	736,0	1,8	899,0	1,7	3.198,0	1,9
Catllar, El	1.501,0	0,4	109,0	0,3	124,0	0,2	712,0	0,4
Constantí	6.941,0	2,1	908,0	2,2	816,0	1,6	3.395,0	2,0
Morell, El	3.770,0	1,1	456,0	1,1	375,0	0,7	1.831,0	1,1
Pallaresos, Els	5.572,0	1,7	672,0	1,6	506,0	1,0	2.685,0	1,6
Perafort	157,0	0,0	29,0	0,1	34,0	0,1	77,0	0,0
Pobla de Mafumet. La	4.522,0	1,4	574,0	1,4	275,0	0,5	2.222,0	1,3
Reus	101.603,0	30,4	13.497,0	32,4	17.194,0	33,3	52.223,0	30,7
Riudoms	92,0	0,0	16,0	0,0	14,0	0,0	41,0	0,0
Salou	30.975,0	9,3	3.113,0	7,5	3.316,0	6,4	15.233,0	9,0
Secuita, La		0,0		0,0		0,0		0,0
Selva del Camp, La	82,0	0,0	9,0	0,0	8,0	0,0	38,0	0,0
Tarragona	138.430,0	41,4	17.429,0	41,8	24.278,0	47,0	70.971,0	41,8
Vila-seca	24.815,0	7,4	3.183,0	7,6	3.029,0	5,9	12.327,0	7,3
Vinyols i els Arcs		0,0		0,0		0,0		0,0
<b>Total</b>	<b>334.752,0</b>	<b>100,0</b>	<b>41.691,0</b>	<b>100,0</b>	<b>51.683,0</b>	<b>100,0</b>	<b>169.990,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Figura 11 muestra la distribución espacial de esta población expuesta, evidenciando una dispersión más amplia respecto a la zona de intervención, que alcanza núcleos urbanos periféricos como Cambrils, el Catllar o els Pallaresos.

**Figura 11. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 4 (zona de alerta)**



*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

En el nivel de severidad 3, correspondiente a la zona de intervención donde pueden producirse víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales severas en áreas extensas, la población expuesta asciende a 17.376 personas. Esta cifra representa una disminución significativa respecto a los niveles 4 y 5, lo cual se explica por su menor área de influencia.

Tal como se observa en la Tabla 11, el municipio con mayor número de personas afectadas es Tarragona, que concentra el 55 % del total (9.559 personas), seguido de la Canonja, con 5.945 personas (34,2 %), y Vila-seca, con 1.852 personas (10,7 %). Constantí presenta un número poco significativo en comparación con el resto de los municipios (20 personas).

En relación con los grupos vulnerables, se contabilizan 2.642 menores de 15 años, 2.426 personas mayores de 65 años y 8.635 mujeres. Tarragona vuelve a destacar con los valores más altos en todos los grupos: 1.619 menores, 1.386 mayores y 4.669 mujeres. Le sigue la Canonja, con 705 menores, 853 mayores y 3.042 mujeres, y en tercer lugar Vila-seca, con cifras más reducidas: 318 menores, 187 mayores y 924 mujeres.

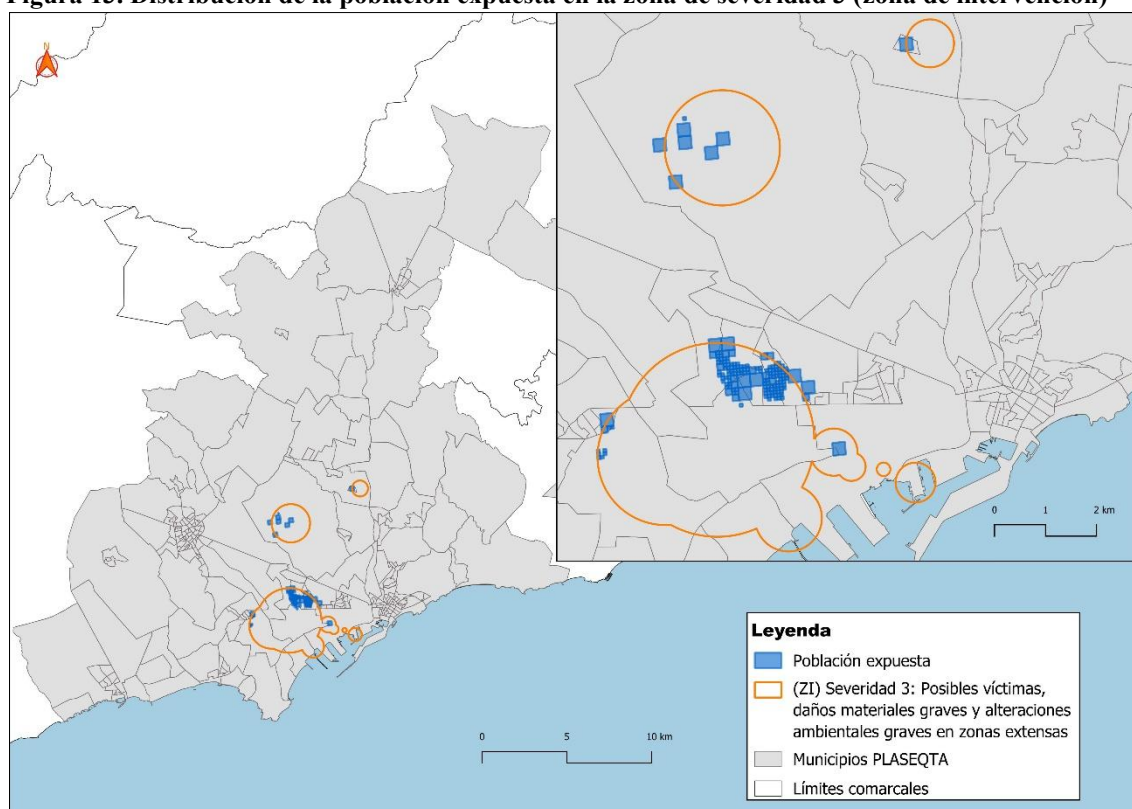
**Tabla 11. Población en la zona de intervención de severidad 3, por grupos de riesgo. (2024)**

Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Canonja, La	5.945,0	34,2	705,0	26,7	853,0	35,2	3.042,0	35,2
Constantí	20,0	0,1		0,0		0,0	8,0	0,1
Perafort		0,0		0,0		0,0		0,0
Pobla de Mafumet, La		0,0		0,0		0,0		0,0
Tarragona	9.559,0	55,0	1.619,0	61,3	1.386,0	57,1	4.669,0	54,1
Vila-seca	1.852,0	10,7	318,0	12,0	187,0	7,7	916,0	10,6
<b>Total</b>	<b>17.376,0</b>	<b>100,0</b>	<b>2.642,0</b>	<b>100,0</b>	<b>2.426,0</b>	<b>100,0</b>	<b>8.635,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Figura 13 permite identificar visualmente las áreas afectadas por esta severidad, mostrando la concentración de población expuesta en torno a los polígonos petroquímicos sur y norte, especialmente en los límites entre Tarragona, la Canonja, y Vila-seca.

**Figura 13. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 3 (zona de intervención)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

En el nivel de severidad 3 correspondiente a la zona de alerta, se contabiliza una población expuesta de 74.670 personas. Esta cifra representa un incremento considerable respecto a la zona de intervención del mismo nivel. Según se detalla en la Tabla 12, los municipios con mayor número de personas expuestas son Tarragona (49,5 % del total), Vila-seca (31,4 %) y Salou (10,7 %).

Estos tres municipios concentran más del 90 % del total, lo cual está directamente relacionado con su proximidad a los focos de riesgos del complejo petroquímico sur.

Tarragona presenta también los valores más elevados en todos los grupos vulnerables: 5.599 menores de 15 años, 5.386 personas mayores de 65 años y 18.156 mujeres. Le sigue Vila-seca, con 3.015 menores, 2.925 mayores y 11.649 mujeres, y en tercer lugar Salou, que concentra 874 menores, 734 mayores y 3.953 mujeres. Otros municipios como la Canonja y Constantí registran cifras menores, aunque relevantes por su localización dentro del el área de riesgo.

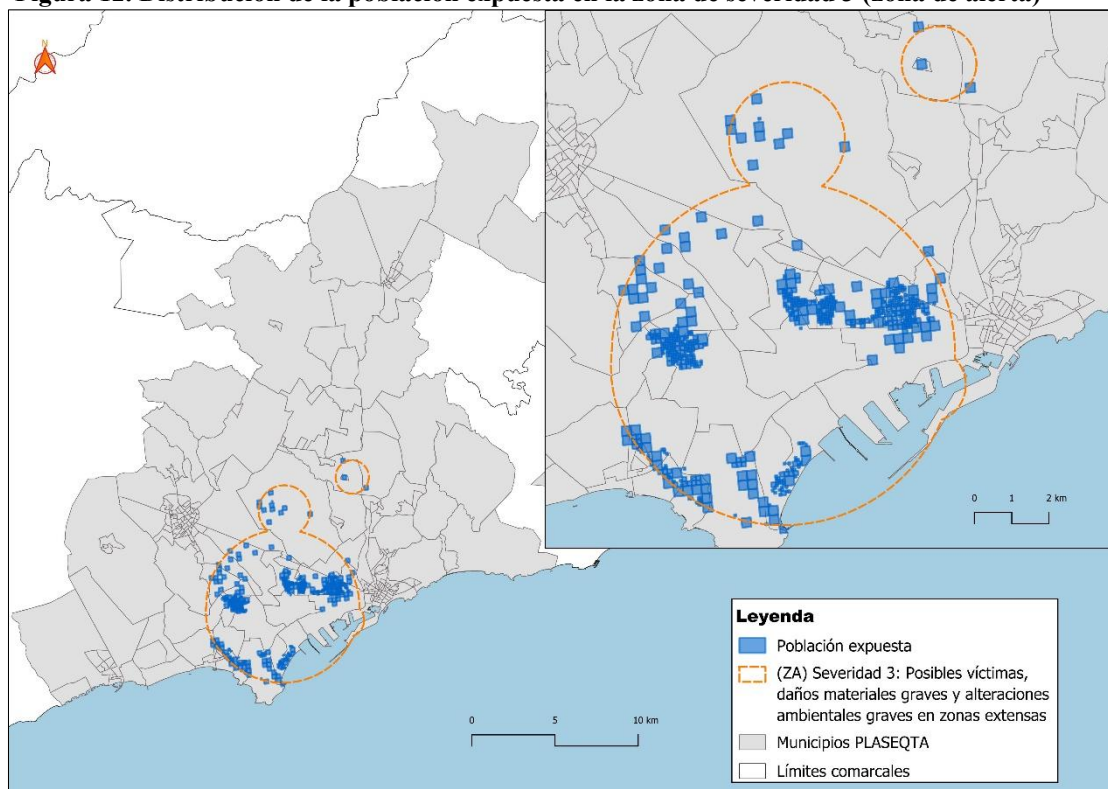
**Tabla 12. Población en la zona de alerta de severidad 3, por grupos de riesgo. (2024)**

Municipios	P total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Constantí	20,0	0,0		0,0		0,0	8,0	0,0
Canonja, La	6.247,0	8,4	736,0	7,2	899,0	9,0	3.198,0	8,7
Pobla de Mafumet, La		0,0		0,0		0,0		0,0
Perafort		0,0		0,0		0,0		0,0
Reus		0,0		0,0		0,0		0,0
Salou	7.973,0	10,7	874,0	8,5	734,0	7,4	3.953,0	10,7
Tarragona	36.977,0	49,5	5.599,0	54,8	5.386,0	54,2	18.156,0	49,1
Vila-seca	23.453,0	31,4	3.015,0	29,5	2.925,0	29,4	11.649,0	31,5
<b>Total</b>	<b>74.670,0</b>	<b>100,0</b>	<b>10.224,0</b>	<b>100,0</b>	<b>9.944,0</b>	<b>100,0</b>	<b>36.964,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La figura 12 muestra la distribución espacial de esta población expuesta, destacando la extensión del área afectada hacia zonas residenciales del entorno urbano-industrial, especialmente en los límites entre Tarragona, Vila-seca y Salou.

**Figura 12. Distribución de la población expuesta en la zona de severidad 3 (zona de alerta)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

Los resultados del análisis demográfico por niveles de severidad demuestran una elevada concentración de población expuesta en las zonas de intervención de mayor severidad, especialmente en los niveles 4 y 5.

Municipios como Tarragona, Vila-seca, Salou y la Canonja concentran la mayor parte de los habitantes afectados, tanto en cifras absolutas como en grupos vulnerables. En las zonas de alerta, aunque el riesgo es menor, se registra una presencia significativa de población sensible, con especial incidencia en municipios como Reus, Cambrils y els Pallaresos.

## 5.2.2 Vulnerabilidad de la población

Este apartado analiza la renta neta media por persona en las zonas de intervención y alerta correspondientes a los niveles de severidad 5, 4 y 3, con el objetivo de identificar posibles diferencias socioeconómicas que puedan influir en la exposición al riesgo químico.

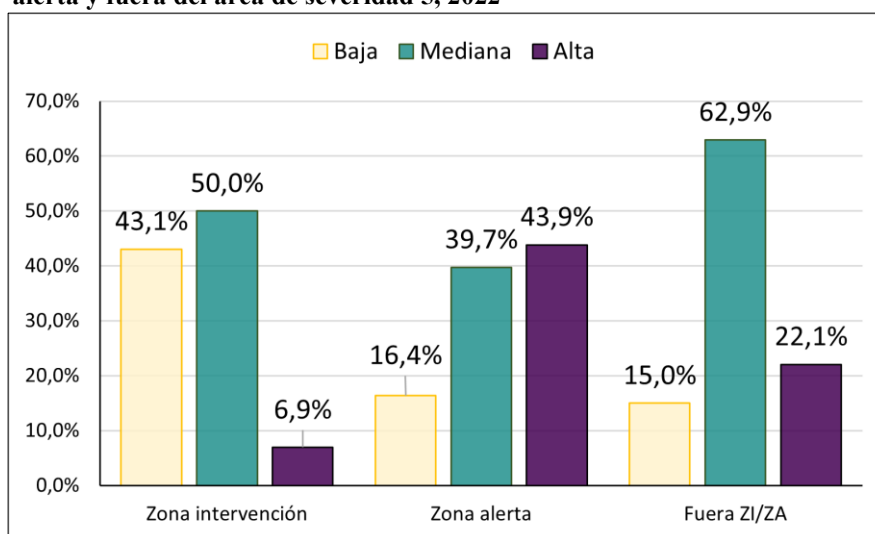
La zona de intervención se define como aquella en la que las consecuencias de un accidente justifican la aplicación inmediata de medidas de protección, dado que toda la población puede sufrir daños en ausencia de autoprotección. Por su parte, la zona de alerta comprende áreas donde los efectos, aunque perceptibles, no requieren intervención general, salvo en el caso de los grupos vulnerables.

### Severidad 5

La Figura 13 representa gráficamente la distribución de la renta por zona, mientras que la Figura 14, muestra su localización espacial. En el eje horizontal de la Figura 13 se distinguen las dos zonas (Intervención y Alerta) y en el vertical, el porcentaje de población según nivel de renta: baja, media y alta. Los resultados muestran diferencias significativas.

En la zona de intervención predominan las rentas medias (50,0 %) y bajas (43,1 %), mientras que la renta alta es minoritaria, (6,9 %). Este bajo porcentaje sugiere que la población con mayor capacidad económica tiende a residir más alejada de los focos de riesgo. En cambio, en la zona de alerta, la renta alta es la categoría más representativa (43,3 %), seguida por la renta media (39,7 %), y la baja (16,4 %). Un dato significativo es la menor presencia de renta baja fuera de las zonas de intervención y alerta, un patrón que también se repite en los niveles de severidad 4 y 3, como se muestra en los mapas de las figuras 14, 16 y 18.

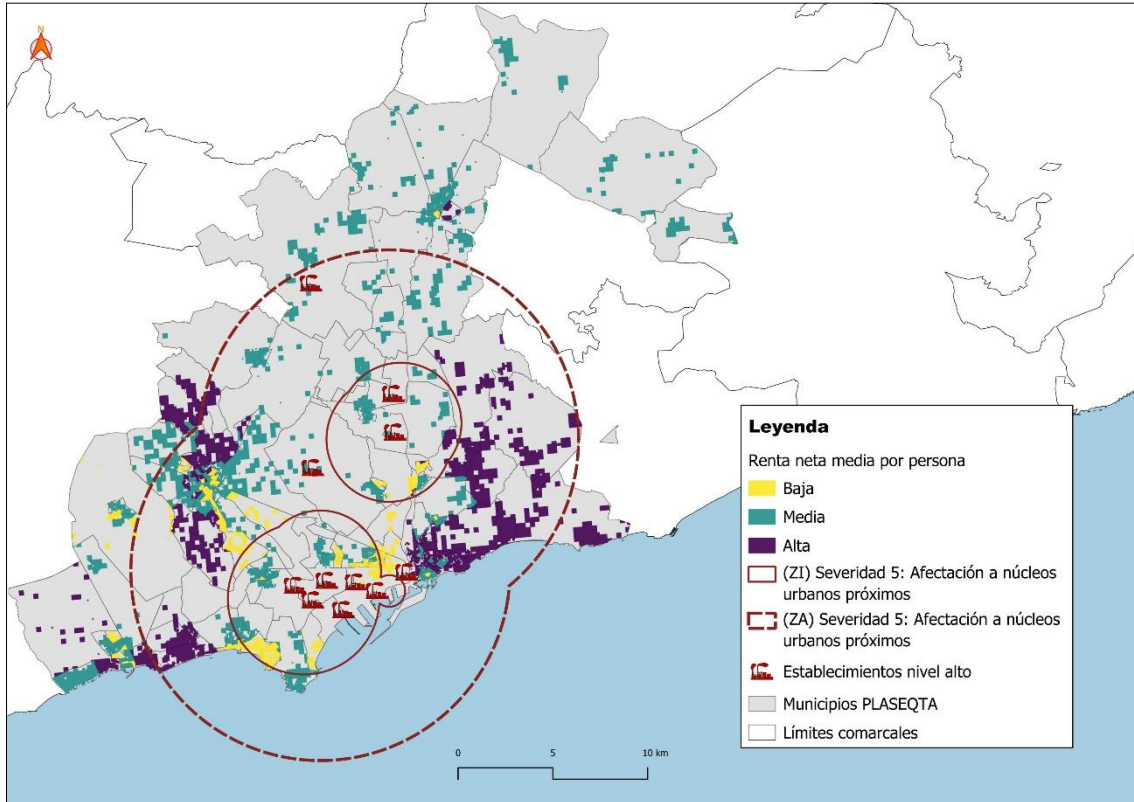
**Figura 13. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 5, 2022**



*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022)*

La Figura 14 permite observar que las rentas bajas y medias se concentran en barrios y municipios como Bonavista, Campclar, Constantí, la Canonja, el Morell, la Pobla de Mafumet, la Pineda, Salou, Torreforta y Vila-seca, varios de ellos próximos al foco de riesgo. Las rentas altas, en cambio, se localizan en zonas periféricas, como Vilafortuny o el barrio del Llevant en Tarragona.

**Figura 14. Renta neta media por persona en las zonas de severidad 5 (Intervención y Alerta), 2022**

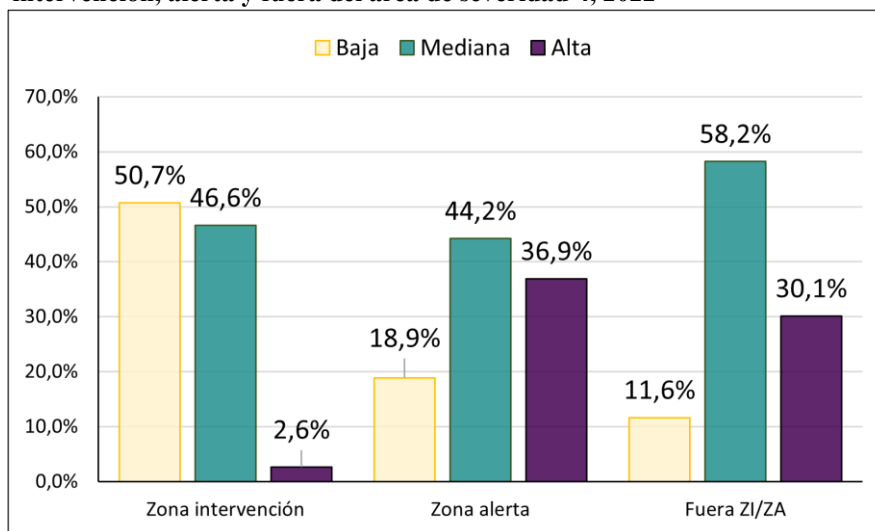


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022), Cens de població y Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, 2023–2024), y Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

#### Severidad 4

La Figura 15 muestra que en la zona de intervención predominan las rentas bajas (50,7 %) y medias (46,6 %), mientras que la renta alta es prácticamente residual (2,6 %). Este patrón refuerza lo observado en el nivel de severidad 5: las rentas bajas se concentran en áreas próximas al riesgo químico. En la zona de alerta, la renta media (44,2 %) es la categoría más representativa, seguida por la renta alta (36,9 %) y la baja (18,9 %).

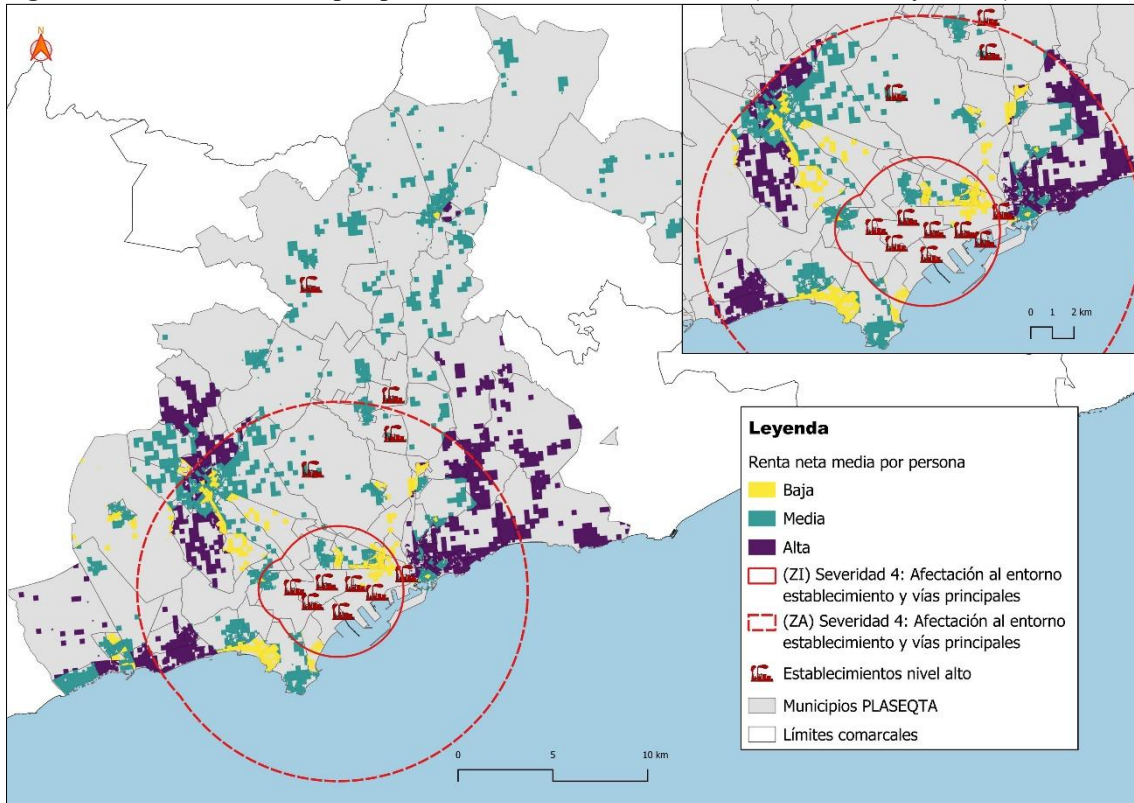
**Figura 15. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 4, 2022**



*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022)*

Este patrón se repite especialmente en la Figura 16, donde las rentas bajas se concentran en barrios como Bonavista, Campclar y Tarragona, mientras que las rentas medias predominan en Vila-seca, la Canonja, y Salou. Las rentas altas se localizan en zonas periféricas más alejadas de los clústeres industriales.

**Figura 16. Renta neta media por persona en zonas de severidad 4 (Intervención y Alerta), 2022**

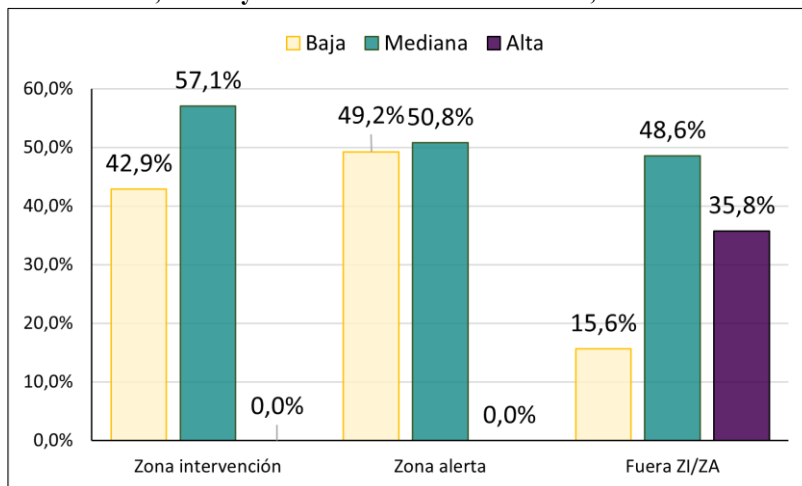


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022), Cens de població y Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, 2023–2024), y Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

**Severidad 3**

La Figura 17 muestra un reparto más equilibrado. En la zona de alerta, las rentas medias (50,8 %) y bajas (49,2 %) se distribuyen de forma similar. En la zona de intervención, las rentas medias (57,1 %) superan a las bajas (42,9 %). En este nivel no se registra población con renta alta en ninguna de las dos zonas, lo que refuerza la tendencia observada en los niveles anteriores.

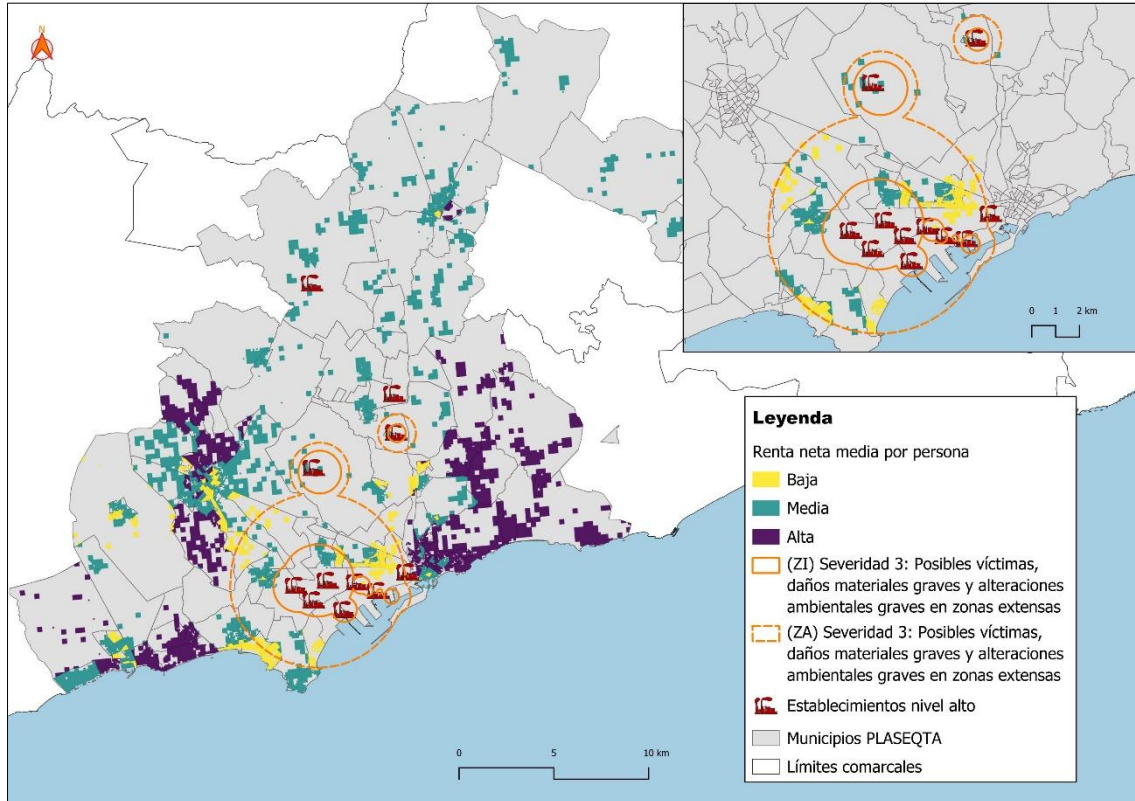
**Figura 17. Comparación de la renta de la población en zonas de intervención, alerta y fuera del área de severidad 3, 2022**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022)

La Figura 18 permite visualizar que, en la zona de intervención, las rentas medias se concentran principalmente en la Canonja, mientras que las bajas se localizan en Bonavista. En la zona de alerta, la distribución es más dispersa, con presencia de rentas bajas y medias en Campclar, Torreforta, Salou, la Pineda y Vila-seca.

**Figura 18. Renta neta media por persona en zonas de severidad 3 (Intervención y Alerta), 2022**



*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Atlas de distribución de renta de los hogares (INE, 2022), Cens de població y Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, 2023–2024), y Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

El análisis comparativo de los niveles de severidad 5, 4 y 3 revela un patrón claro: las rentas bajas y medias son más frecuentes en áreas cercanas a los focos de riesgo químico, especialmente dentro de las zonas de intervención. Las rentas altas, por el contrario, se concentran en la periferia de la zona de alerta, más alejadas de los clústeres industriales.

La reiterada ausencia de rentas altas en las zonas de intervención sugiere que la proximidad al riesgo químico está condicionada por factores económicos que limitan la capacidad de elección residencial de los grupos socioeconómicamente vulnerables.

### 5.2.3 Exposición de equipamientos sensibles

La exposición de equipamientos sensibles se ha analizado en función de su localización dentro de las zonas de intervención y de alerta correspondientes a los niveles de severidad 5, 4 y 3. Estos equipamientos incluyen instalaciones deportivas, centros educativos, hospitales y residencias.

#### Severidad 5

La Tabla 13 presenta el número de equipamientos sensibles identificados en cada zona, así como su distribución porcentual. En conjunto, se contabilizan 557 equipamientos, 423 se localizan en la zona de alerta (76 %) y 134 en la zona de intervención (24 %). Los centros educativos y las instalaciones deportivas son los más numerosos, seguidos por hospitales y residencias.

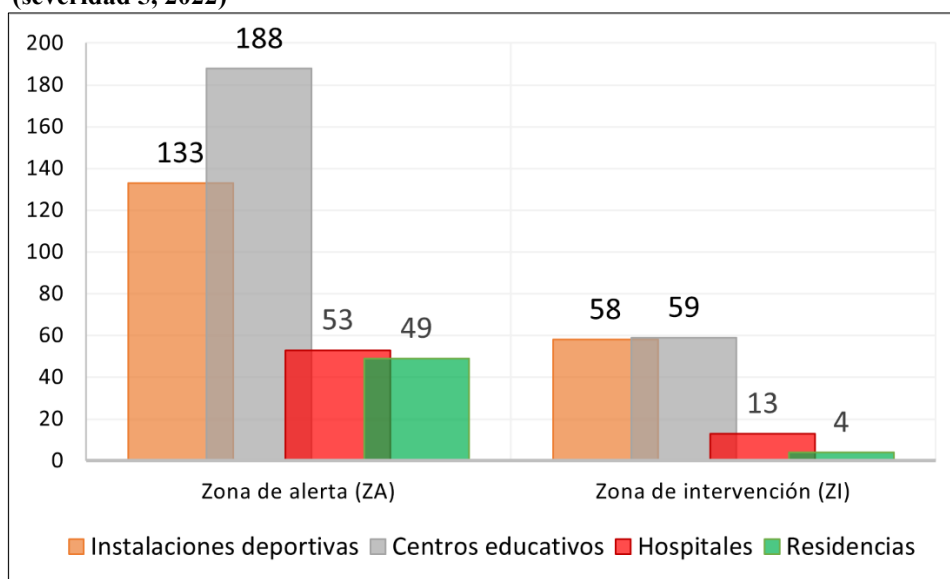
**Tabla 13. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 5, 2024**

Tipo de equipamiento	Zona de alerta (ZA)	%	Zona de intervención (ZI)	%	Total	%
Instalaciones deportivas	133	31	58	43	191	34
Centros educativos	188	44	59	44	247	44
Hospitales	53	13	13	10	66	12
Residencias	49	12	4	3	53	10
<b>Total</b>	<b>423</b>	<b>100</b>	<b>134</b>	<b>100</b>	<b>557</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

La Figura 19 representa gráficamente esta distribución, en la zona de alerta se contabilizan 188 centros educativos, 133 instalaciones deportivas, 53 hospitales y 49 residencias. En la zona de intervención, los centros educativos y las instalaciones deportivas presentan cifras similares (59 y 58 unidades respectivamente), mientras que los hospitales son 13 y las residencias 4.

**Figura 19. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZI y ZA (severidad 5, 2022)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

#### Severidad 4

La Tabla 14 muestra el número de equipamientos sensibles en las zonas de intervención y alerta. Se identifican un total de 403 equipamientos, con 331 en la zona de alerta (82 %) y 72 en la zona de intervención (18 %).

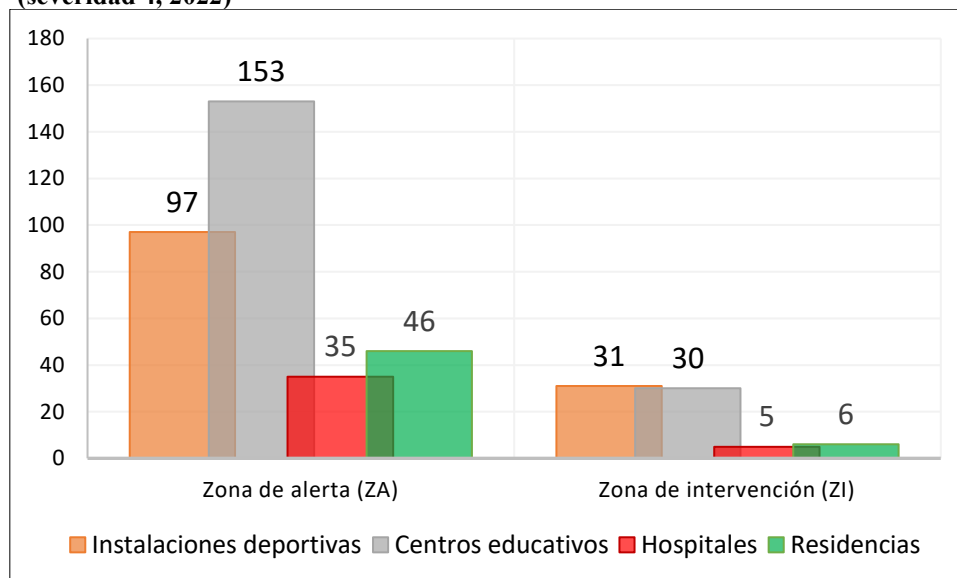
**Tabla 14. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 4, 2022**

Tipo de equipamiento	Zona de alerta (ZA)	%	Zona de intervención (ZI)	%	Total	%
Instalaciones deportivas	97	29	31	43	<b>128</b>	32
Centros educativos	153	46	30	42	<b>183</b>	45
Hospitales	35	11	5	7	<b>40</b>	10
Residencias	46	14	6	8	<b>52</b>	13
<b>Total</b>	<b>331</b>	100	<b>72</b>	100	<b>403</b>	100

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

La Figura 20 representa gráficamente esta distribución. En la zona de alerta se contabilizan 153 centros educativos, 97 instalaciones deportivas, 46 residencias y 35 hospitales. En la zona de intervención se registran 31 instalaciones deportivas, 30 centros educativos, 6 residencias y 5 hospitales.

**Figura 20. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZI y ZA (severidad 4, 2022)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

### Severidad 3

La Tabla 15 recoge un total de 96 equipamientos, de los cuales 82 se localizan en la zona de alerta (85 %) y 14 en la zona de intervención (15 %).

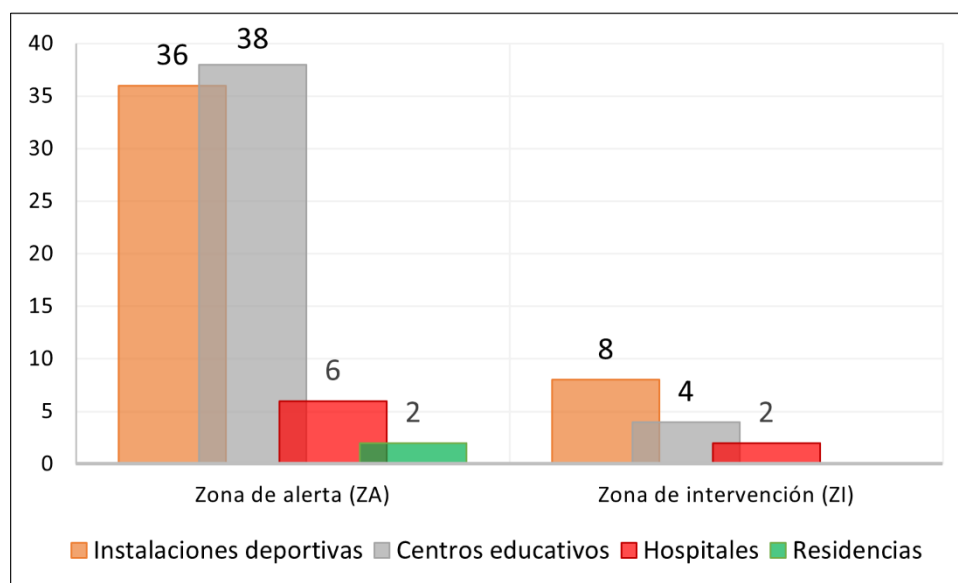
**Tabla 15. Número de equipamientos sensibles en zonas de intervención y de alerta según el nivel de severidad 3, 2022**

Tipo de equipamiento	Zona de alerta (ZA)	%	Zona de intervención (ZI)	%	Total	%
Instalaciones deportivas	36	44	8	57	44	46
Centros educativos	38	46	4	29	42	44
Hospitales	6	7	2	14	8	8
Residencias	2	2	0	0	2	2
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

La Figura 21 representa gráficamente esta distribución. En la zona de alerta se registran 38 centros educativos, 36 instalaciones deportivas, 6 hospitales y 2 residencias. En la zona de intervención, por su parte, se contabilizan 8 instalaciones deportivas, 4 centros educativos, 2 hospitales y ninguna residencia.

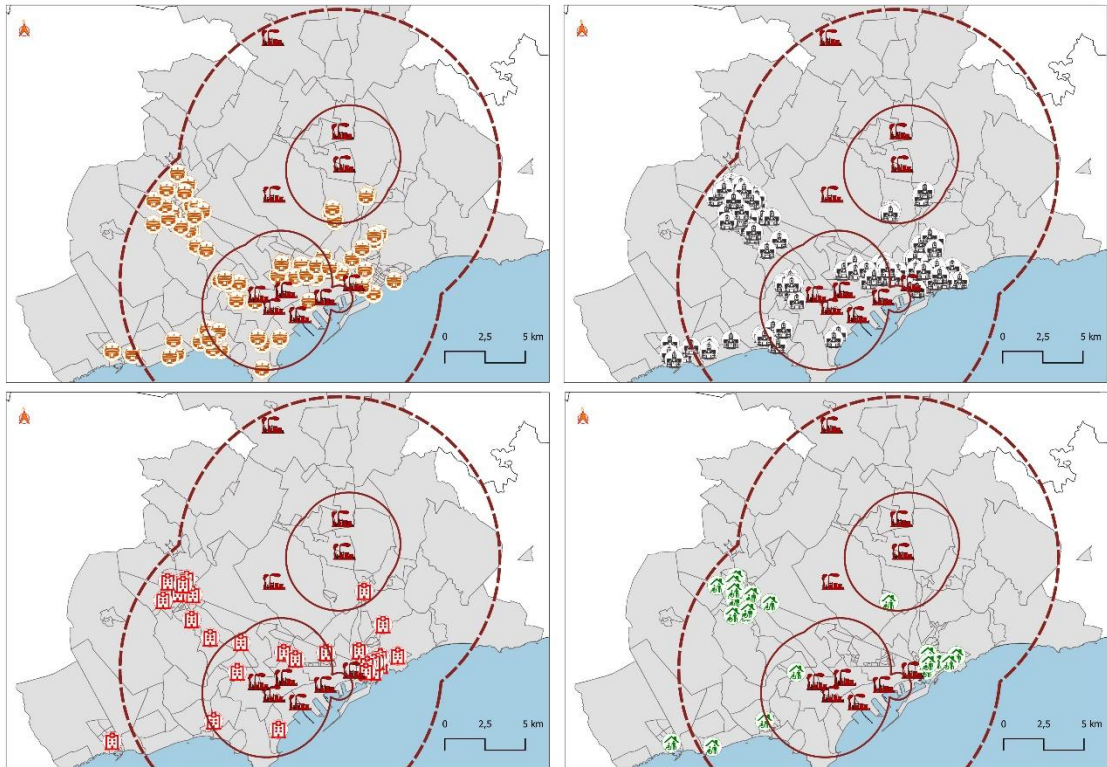
**Figura 21. Representación gráfica de los equipamientos sensibles en ZA y ZI (severidad 3, 2022)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

Las Figuras 22, 23 y 24 muestran la distribución espacial de los equipamientos sensibles afectados según los niveles de severidad 5, 4 y 3. Esta representación permite identificar con claridad las áreas con mayor densidad de infraestructuras vulnerables, complementando la información cuantitativa presentada en las tablas y gráficos.

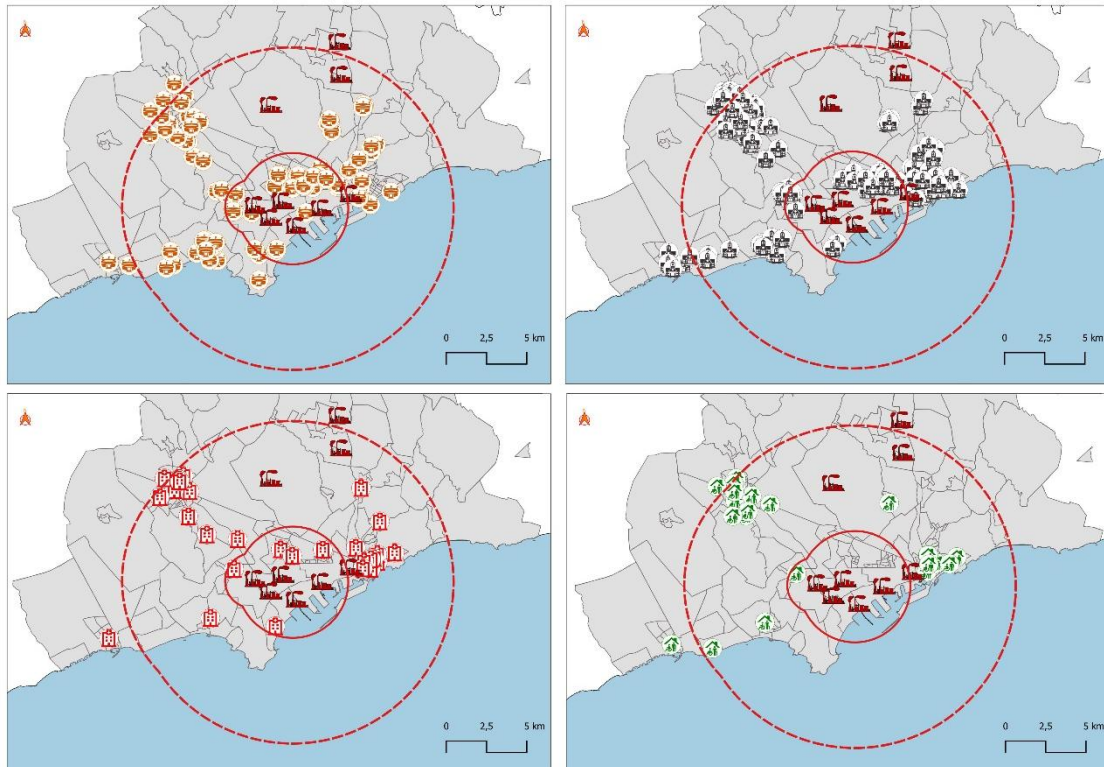
**Figura 22. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 5)**



Leyenda		
	Instalaciones deportivas	
	Centros educativos	
	Hospitales	
	Residencias	
	<b>Severidad</b>	
	(ZI) Severidad 3: Posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales graves en zonas extensas	Establecimientos nivel alto
	(ZA) Severidad 3: Id.	Municipios PLASEQTA
	(ZI) Severidad 4: Afectación al entorno establecimiento y vías principales	Límites comarcales
	(ZA) Severidad 4: Id.	
	(ZI) Severidad 5: Afectación a núcleos urbanos próximos	
	(ZA) Severidad 5: Id.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana y la DGPC

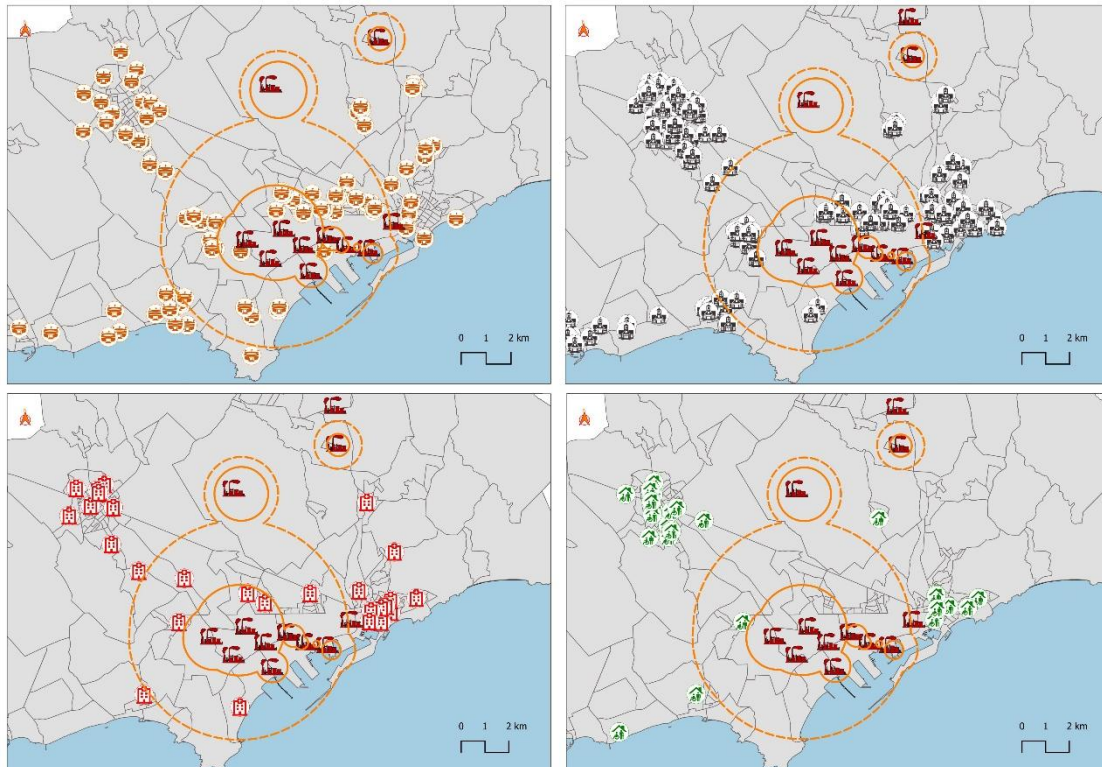
**Figura 23. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 4)**



Leyenda		
Instalaciones deportivas	<b>Severidad</b>	Establecimientos nivel alto
Centros educativos	(ZI) Severidad 3: Posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales graves en zonas extensas	Municipios PLASEQTA
Hospitales	(ZA) Severidad 3: Id.	Límites comarcales
Residencias	(ZI) Severidad 4: Afectación al entorno establecimiento y vías principales	
	(ZA) Severidad 4: Id.	
	(ZI) Severidad 5: Afectación a núcleos urbanos próximos	
	(ZA) Severidad 5: Id.	

*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana y la DGPC*

**Figura 24. Equipamientos sensibles en zonas de intervención y alerta (Severidad 3)**



Leyenda	
	Instalaciones deportivas
	Centros educativos
	Hospitales
	Residencias
	Establecimientos nivel alto
	Municipios PLASEQTA
	Límites comarcales
	(ZI) Severidad 3: Posibles víctimas, daños materiales graves y alteraciones ambientales graves en zonas extensas
	(ZA) Severidad 3: Id.
	(ZI) Severidad 4: Afectación al entorno establecimiento y vías principales
	(ZA) Severidad 4: Id.
	(ZI) Severidad 5: Afectación a núcleos urbanos próximos
	(ZA) Severidad 5: Id.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana y la DGPC*

El análisis de exposición de equipamientos sensibles revela una alta concentración de infraestructuras críticas en las zonas de alerta, especialmente en los niveles de severidad 5 y 4. En total, se contabilizan 836 equipamientos sensibles en zonas de alerta: 423 en severidad 5, 331 en severidad 4 y 82 en severidad 3. Los centros educativos e instalaciones deportivas son los más numerosos, seguidos por hospitales y residencias.

Aunque la zona de intervención presenta cifras más reducidas su relevancia es importante. Se registran 220 equipamientos sensibles en zonas de intervención: 134 en severidad 5, 72 en severidad 4 y 14 en severidad 3.

### 5.3 Evaluación de la cobertura poblacional del sistema de sirenas de alerta

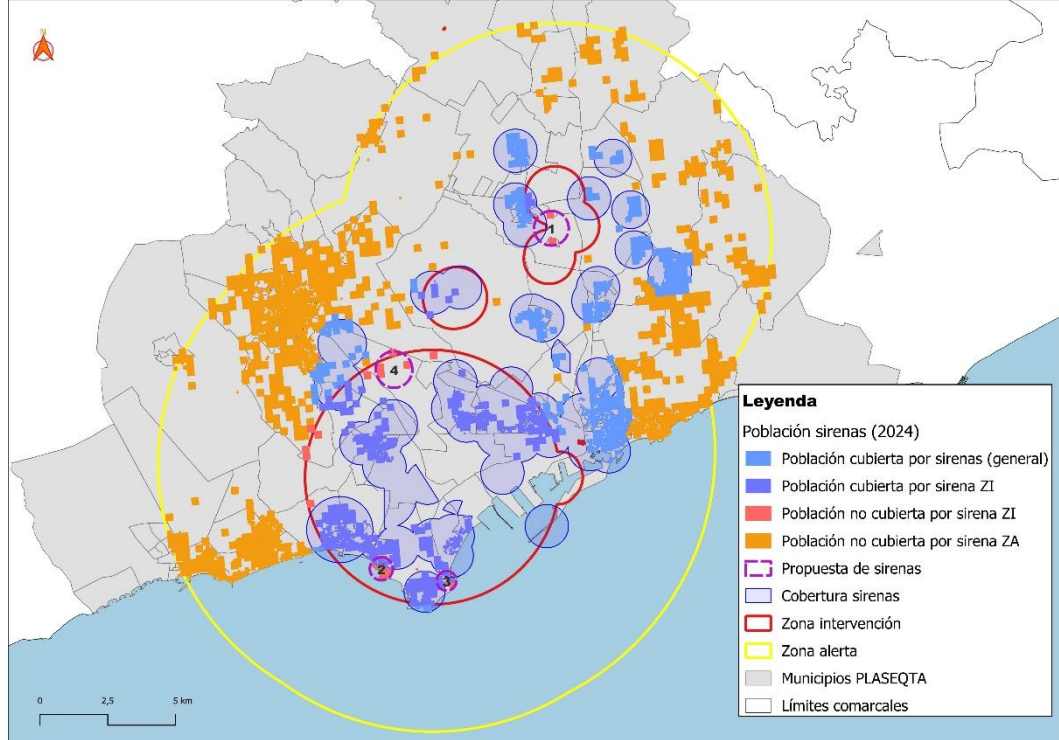
Este capítulo presenta una evaluación detallada de la cobertura poblacional del sistema de sirenas de emergencia en el Camp de Tarragona, en el marco del PLASEQTA. El análisis se centra en la capacidad del sistema para alcanzar acústicamente a la población expuesta en caso de accidente químico, diferenciando entre dos ámbitos definidos por el plan: la zona de intervención, donde se prevén daños que justifican medidas inmediatas de protección, y la zona de alerta, donde los efectos pueden ser perceptibles, pero no requieren intervención directa, salvo para los grupos críticos de población.

A partir de datos geospaciales se examina la distribución de la población cubierta y no cubierta por sirenas, con especial atención a los grupos vulnerables: menores de 15 años, mayores de 65 años y mujeres. El análisis permite identificar áreas protegidas, zonas parcialmente cubiertas y sectores que podrían beneficiarse de refuerzos en el sistema de alerta.

El capítulo se estructura en cinco apartados:

- La cobertura general de la población en todo el ámbito territorial.
- La cobertura específica en la zona de intervención.
- La identificación de población no cubierta en dicha zona y la propuesta de instalación de nuevas sirenas.
- La evaluación de la población no cubierta en la zona de alerta.
- Una comparativa entre los datos de cobertura de los años 2022 y 2024.

**Figura 25. Cobertura actual y propuesta de sirenas de alerta en el Camp de Tarragona (2024)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.3.1 Cobertura general de la población

Según los datos recogidos en la Tabla<sup>12</sup> 16, la cobertura general de sirenas en el Camp de Tarragona alcanza un total de 351.530 habitantes. Esta cifra incluye tanto la población residente en zonas de intervención como en zonas de alerta.

El análisis desagregado por grupos vulnerables permite observar que:

- La población infantil (menores de 15 años) cubierta asciende a 44.562 personas.
- La población mayor (65 años o más) cubierta es de 57.050 personas.
- El total de mujeres cubiertas por sirenas es de 178.561.

Los municipios con mayor número de población cubierta son Tarragona (62,6 % del total), Salou (11,4 %) y Vila-seca (11,2 %), que concentran conjuntamente más del 85 % de la población cubierta. En contraste, municipios como els Garidells, la Secuita o Perafort presentan cifras significativamente menores.

**Tabla 16. Población general cubierta por sirenas en el Camp de Tarragona (2024)**

Municipios	Total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Constantí	9.488,0	2,7	1.269,0	2,8	1.114,0	2,0	4.627,0	2,6
Catllar, El	2.232,0	0,6	245,0	0,5	154,0	0,3	1.115,0	0,6
Morell, El	5.380,0	1,5	566,0	1,3	489,0	0,9	2.627,0	1,5
Garidells, Els	185,0	0,1		0,0		0,0	96,0	0,1
Pallaresos, Els	7.909,0	2,2	990,0	2,2	699,0	1,2	3.900,0	2,2
Canonja, La	9.678,0	2,8	1.126,0	2,5	1.389,0	2,4	4.974,0	2,8
Pobla de Mafumet, La	5.952,0	1,7	794,0	1,8	390,0	0,7	2.937,0	1,6
Secuita, La	538,0	0,2	74,0	0,2	53,0	0,1	271,0	0,2
Perafort	1.432,0	0,4	122,0	0,3	123,0	0,2	689,0	0,4
Reus	6.855,0	2,0	1.048,0	2,4	752,0	1,3	3.339,0	1,9
Salou	40.021,0	11,4	4.351,0	9,8	4.896,0	8,6	19.848,0	11,1
Tarragona	220.208,0	62,6	28.236,0	63,4	41.427,0	72,6	113.434,0	63,5
Vilallonga del Camp	2.422,0	0,7	336,0	0,8	262,0	0,5	1.187,0	0,7
Vila-seca	39.230,0	11,2	5.405,0	12,1	5.302,0	9,3	19.517,0	10,9
<b>Total general</b>	<b>351.530,0</b>	<b>100,0</b>	<b>44.562,0</b>	<b>100,0</b>	<b>57.050,0</b>	<b>100,0</b>	<b>178.561,0</b>	<b>100,0</b>

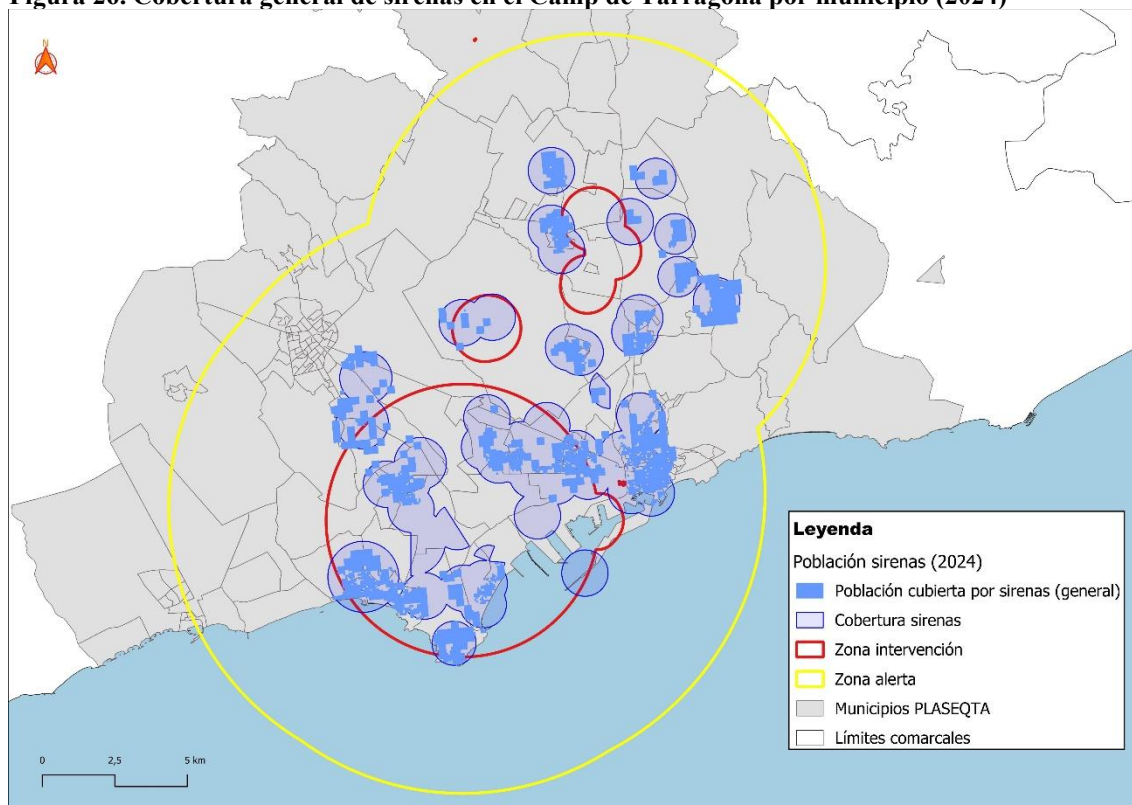
Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

La Figura 26 representa la cobertura general de sirenas de emergencia en el Camp de Tarragona, mostrando la distribución espacial de la población cubierta en relación con los límites municipales, las zonas de intervención y alerta, y las áreas de cobertura sonora. El mapa permite contextualizar los datos por municipio y grupo vulnerable.

<sup>12</sup> La capa de población utilizada proviene de la agregación espacial de puntos geocodificados mediante un quadtree de resolución máxima (62,5 metros), con un umbral mínimo de 17 habitantes. Según los metadatos oficiales, en los casos en que la población es inferior a dicho umbral, los valores asociados aparecen como nulos. (Cens de població i Registre Estadístic de Territori – RET, 2023-2024).

Esta condición afecta principalmente a áreas dispersas o de baja densidad. Por este motivo, tanto en esta tabla como en las siguientes pueden aparecer celdas en blanco.

**Figura 26. Cobertura general de sirenas en el Camp de Tarragona por municipio (2024)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.3.2 Cobertura en la zona de intervención

Según los datos recogidos en la Tabla 17, la cobertura de sirenas en la zona de intervención alcanza un total de 156.659 habitantes. Esa cifra incluye exclusivamente a la población residente dentro de los límites definidos como zona de intervención por el plan PLASEQTA.

El análisis por grupos vulnerables muestra:

- La población infantil (menores de 15 años) cubierta asciende a 21.630 personas.
- La población mayor (65 años o más) cubierta es de 21.726 personas.
- El total de mujeres cubiertas por sirenas en esta zona es de 77.539.

Los municipios con mayor número de población cubierta en la zona de intervención son Tarragona (43,0 %), Salou (25,1 %) y Vila-seca (24,3%), que concentran conjuntamente más del 92 % de la cobertura en esta área. En cambio, municipios como la Poble de Mafumet, el Morell o Constantí presentan cifras considerablemente menores, debido a su menor extensión dentro de la zona de intervención.

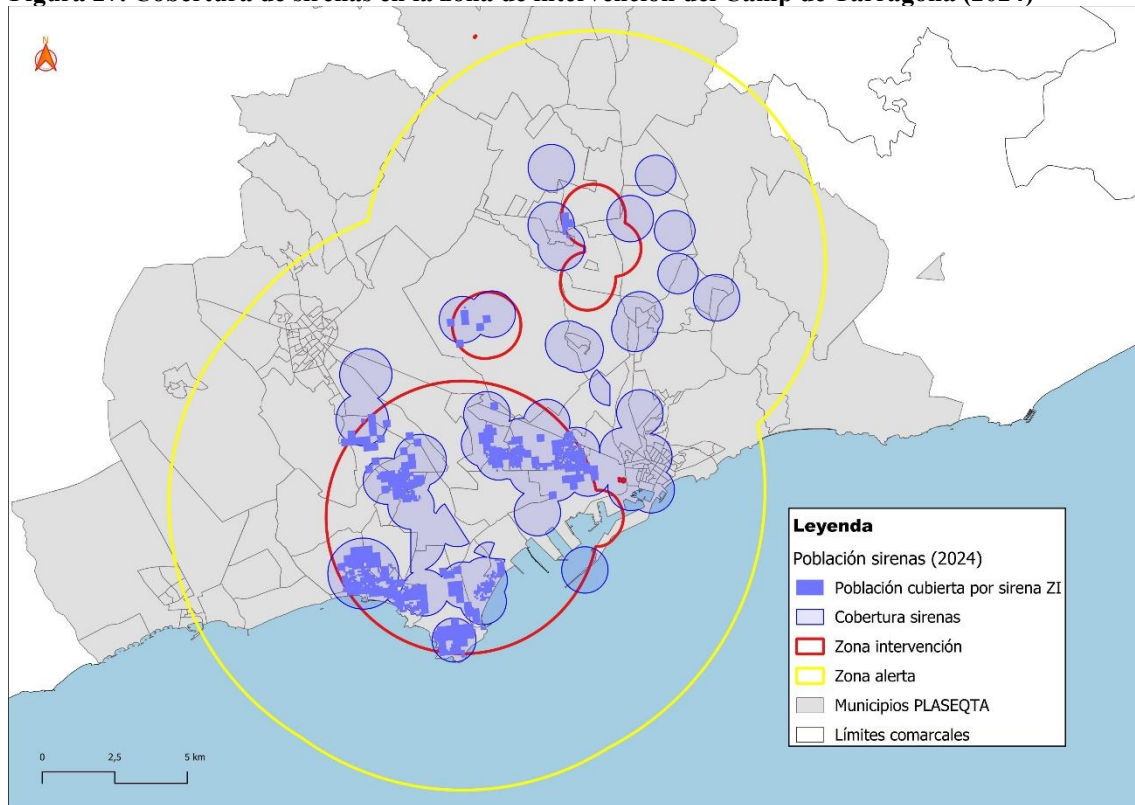
**Tabla 17. Población cubierta por sirenas en la zona de intervención (2024)**

Municipios	Total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Constantí	20,0	0,0		0,0		0,0	8,0	0,0
Morell, El	1.881,0	1,2	237,0	1,1	181,0	0,8	896,0	1,2
Canonja, La	9.678,0	6,2	1.126,0	5,2	1.389,0	6,4	4.974,0	6,4
Pobla de Mafumet, La	460,0	0,3	39,0	0,2	19,0	0,1	229,0	0,3
Reus		0,0		0,0		0,0		0,0
Salou	39.274,0	25,1	4.291,0	19,8	4.817,0	22,2	19.469,0	25,1
Tarragona	67.302,0	43,0	10.699,0	49,5	10.095,0	46,5	33.043,0	42,6
Vila-seca	38.044,0	24,3	5.238,0	24,2	5.225,0	24,0	18.920,0	24,4
<b>Total general</b>	<b>156.659,0</b>	<b>100,0</b>	<b>21.630,0</b>	<b>100,0</b>	<b>21.726,0</b>	<b>100,0</b>	<b>77.539,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

La Figura 27 representa la cobertura de sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona, mostrando la distribución espacial de la población cubierta en relación con los límites municipales, las áreas de riesgo químico y las zonas de cobertura sonora. El mapa permite contextualizar los datos por municipio y grupo vulnerable.

**Figura 27. Cobertura de sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.3.3 Población no cubierta en la zona de intervención y propuesta de nueva sirena

Según los datos recogidos en la Tabla 18, se identifican núcleos de población dentro de la zona de intervención del Camp de Tarragona que no disponen de cobertura sonora de sirenas, a pesar de estar incluidos en el ámbito de riesgo definido por el plan PLASEQTA. Esta situación pone de manifiesto la falta de cobertura sonora en determinados municipios, donde se concentra población especialmente vulnerable.

En total, se contabilizan 1.781 habitantes sin cobertura, de los cuales:

- 90 son menores de 15 años.
- 116 son personas mayores de 65 años.
- 802 son mujeres.

La mayor parte de esta población no cubierta se concentra en Salou (94,7 %), seguido por Vila-seca (5,3 %). Por otro lado, municipios como la Poble de Mafumet, Perafort y Reus también figuran en la Tabla 18, pero no presentan población registrada en esta zona. Esto se debe a que, en algunos casos, la población existente no supera el umbral mínimo de 17 habitantes por polígono, por lo que los valores aparecen como nulos en la capa de datos. Esta condición metodológica puede ocultar pequeñas concentraciones de población que, aunque presentes, no alcanzan el umbral para ser representadas en la capa de datos.

Ante esta situación, se propone la instalación de sirenas en el entorno comprendido entre la Poble de Mafumet, la Plana, la Pineda y el sector noreste de Salou, donde se concentra la mayor parte de la población no cubierta dentro de la zona de intervención. Este eje presenta una combinación de núcleos residenciales, zonas industriales y áreas turísticas con presencia de población vulnerable que actualmente no está cubierta por el sistema de alerta.

La ubicación de las nuevas sirenas permitiría ampliar la cobertura sonora hacia estos sectores.

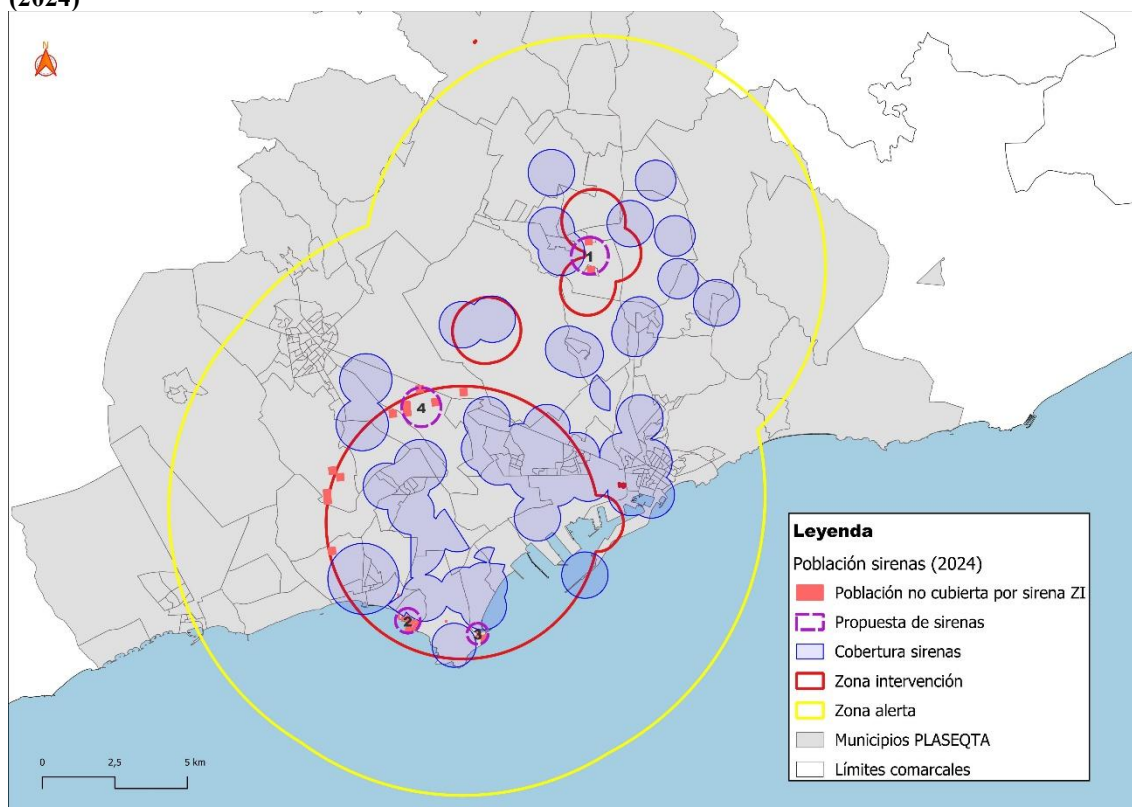
**Tabla 18. Población no cubierta por sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)**

Municipios	Total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Poble de Mafumet, La		0,0		0,0		0,0		0,0
Perafort		0,0		0,0		0,0		0,0
Reus		0,0		0,0		0,0		0,0
Salou	1.686,0	94,7	90,0	100,0	116,0	100,0	756,0	94,3
Vila-seca	95,0	5,3		0,0		0,0	46,0	5,7
<b>Total general</b>	<b>1.781,0</b>	<b>100,0</b>	<b>90,0</b>	<b>100,0</b>	<b>116,0</b>	<b>100,0</b>	<b>802,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

La Figura 28 representa las áreas dentro de la zona de intervención que no disponen de cobertura sonora de sirenas, destacando los municipios afectados y la distribución espacial de la población vulnerable. El mapa permite contextualizar la necesidad de nuevas instalaciones.

**Figura 28. Población no cubierta por sirenas en la zona de intervención del Camp de Tarragona (2024)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.3.4 Población no cubierta en la zona de alerta

Según los datos recogidos en la Tabla 19, la población no cubierta por sirenas en la zona de alerta del Camp de Tarragona asciende a 298.720 habitantes.

El análisis por grupos vulnerables revela que:

- 38.092 personas son menores de 15 años.
- 50.977 personas tienen 65 años o más.
- 153.141 son mujeres.

Los municipios con mayor número de población no cubierta en la zona de alerta son Reus (68,6 %), Tarragona (17,4 %) y Cambrils (7,2 %), que concentran conjuntamente más del 93 % del total. Otros municipios como el Catllar, la selva del Camp, la Secuita y Vinyols i els Arcs también presentan cifras relevantes, aunque en menor proporción.

Aunque la cifra total de población no cubierta en la zona de alerta es elevada, esta condición no implica necesariamente una situación de desprotección, ya que, según el plan PLASEQTA, la zona de alerta se define como aquella en la que los efectos de un accidente químico pueden ser perceptibles por la población, pero no justifican la intervención directa, excepto en el caso de

grupos críticos (Ministerio del Interior, 2011, p .14). Por lo tanto, la ausencia de cobertura sonora en esta zona responde a criterios de planificación basados en el nivel de riesgo, y no a una omisión del sistema de alerta.

**Tabla 19. Población no cubierta por sirenas en la zona de alerta (2024)**

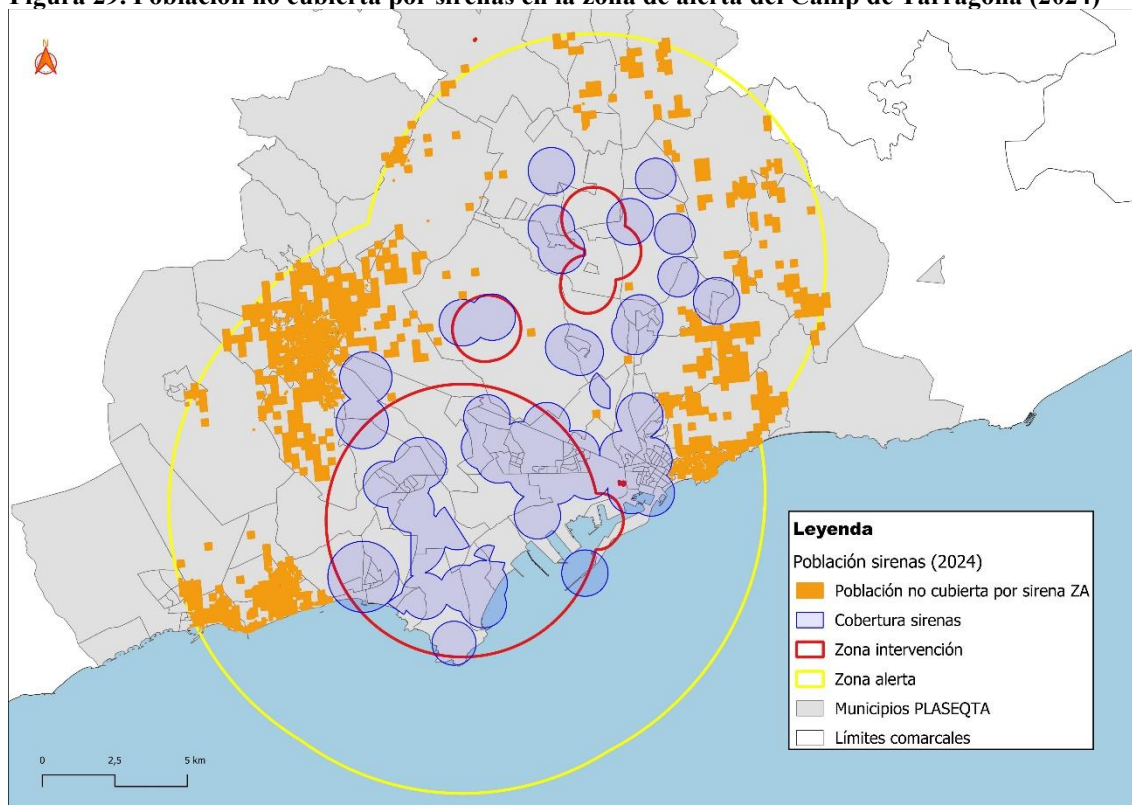
Municipios	Total	%	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%
Alcover	191,0	0,1	31,0	0,1	38,0	0,1	98,0	0,1
Almóster		0,0		0,0		0,0		0,0
Cambrils	21.426,0	7,2	2.148,0	5,6	2.522,0	4,9	10.953,0	7,2
Castellvell del Camp	871,0	0,3	166,0	0,4	77,0	0,2	424,0	0,3
Constantí		0,0		0,0		0,0		0,0
Catllar, El	3.214,0	1,1	285,0	0,7	322,0	0,6	1.485,0	1,0
Milà, El	178,0	0,1	21,0	0,1	27,0	0,1	89,0	0,1
Rourell, El	403,0	0,1	36,0	0,1	45,0	0,1	198,0	0,1
Garidells, Els	56,0	0,0	7,0	0,0	9,0	0,0	33,0	0,0
Pallaresos, Els	1.626,0	0,5	135,0	0,4	123,0	0,2	755,0	0,5
Masó, La	333,0	0,1	26,0	0,1	66,0	0,1	162,0	0,1
Secuita, La	2.158,0	0,7	222,0	0,6	223,0	0,4	1.067,0	0,7
Selva del Camp, La	5.448,0	1,8	611,0	1,6	764,0	1,5	2.757,0	1,8
Perafort		0,0		0,0		0,0		0,0
Reus	204.875,0	68,6	27.250,0	71,5	37.724,0	74,0	105.733,0	69,0
Riudoms	1.174,0	0,4	122,0	0,3	195,0	0,4	589,0	0,4
Salou	1.301,0	0,4	127,0	0,3	71,0	0,1	629,0	0,4
Tarragona	52.121,0	17,4	6.549,0	17,2	8.333,0	16,3	26.461,0	17,3
Vallmoll	1.286,0	0,4	150,0	0,4	175,0	0,3	643,0	0,4
Valls		0,0		0,0		0,0		0,0
Vilallonga del Camp		0,0		0,0		0,0		0,0
Vila-seca	196,0	0,1	43,0	0,1	10,0	0,0	93,0	0,1
Vinyols i els Arcs	1.863,0	0,6	163,0	0,4	253,0	0,5	972,0	0,6
<b>Total general</b>	<b>298.720,0</b>	<b>100,0</b>	<b>38.092,0</b>	<b>100,0</b>	<b>50.977,0</b>	<b>100,0</b>	<b>153.141,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

La Figura 29 muestra la distribución espacial de la población no cubierta por sirenas en la zona de alerta, señalando los municipios con mayor concentración de población vulnerable. Los cuadrados naranjas representan núcleos de población fuera del alcance acústico, mientras que las zonas amarillas delimitan el perímetro de alerta definido por el plan PLASEQTA.

Aunque esta zona no requiere intervención directa para toda la población, los grupos críticos sí podrían necesitar medidas de autoprotección como el confinamiento. El mapa permite identificar áreas donde sería recomendable reforzar la capacidad de aviso, especialmente en municipios con alta densidad de población vulnerable.

**Figura 29. Población no cubierta por sirenas en la zona de alerta del Camp de Tarragona (2024)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)

### 5.3.5 Comparativa de cobertura poblacional entre 2022 y 2024

Con el objetivo de evaluar la evolución del sistema de sirenas de emergencia en el Camp de Tarragona, se ha realizado una comparación entre datos de cobertura poblacional correspondiente a los años 2022 y 2024. Aunque los datos de 2022 no incluyen el desglose por grupos vulnerables, permiten analizar la evolución de la cobertura poblacional del sistema de sirenas.

En 2022, la población general cubierta por sirenas ascendía a 196.549 habitantes, mientras que en 2024 la cifra se incrementa hasta 351.530 habitantes, lo que representa una mejora absoluta de 154.981 personas y una variación relativa del +78,9 %.

En la zona de intervención, la población cubierta pasó de 90.030 habitantes en 2022 a 156.659 en 2024, con una variación relativa del +74,0 %. Por otro lado, la población no cubierta en esta zona se redujo ligeramente, pasando de 1.816 personas en 2022 a 1.781 en 2024.

En cuanto a la zona de alerta, la población no cubierta pasó de 157.563 habitantes en 2022 a 298.720 en 2024, con una variación relativa del +89,6 %. Este incremento podría estar relacionado con la evolución demográfica en municipios que presentan una alta densidad poblacional dentro de la zona de alerta.

**Tabla 20. Tabla comparativa de cobertura poblacional por sirenas (2022-2024)**

<b>Categoría</b>	<b>2022</b>	<b>2024</b>	<b>Variación absoluta</b>	<b>Variación relativa</b>
Población general cubierta	196.549,0	351.530,0	154.981,0	+78,9 %
Cobertura en zona de intervención	90.030,0	156.659,0	66.629,0	+74,0 %
No cubierta en zona de intervención	1.816,0	1.781,0	-35	-1,9 %
No cubierta en zona de alerta	157.563,0	298.720,0	141.157,0	+89,6 %

*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024) y de la Generalitat de Catalunya, Direcció General de Protecció Civil (DGPC)*

El análisis de cobertura poblacional del sistema de sirenas en el Camp de Tarragona ha permitido identificar con precisión las zonas cubiertas y, sobre todo, aquellas que aún presentan ausencia de cobertura, especialmente en la zona de intervención. En la zona de alerta, aunque no se requiere intervención directa para toda la población, se ha detectado una elevada presencia de grupos vulnerables sin cobertura sonora.

La comparativa entre los años 2022 y 2024 confirma una evolución positiva en términos de población cubierta, atribuible al crecimiento demográfico.

## 5.4 Simulación de escenarios de accidentes químicos

Este capítulo presenta una simulación de un escenario de fuga de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el entorno industrial del Camp de Tarragona, concretamente en la empresa Clariant Ibérica Producción S.A., ubicada en el polígono sur de la Canonja. El objetivo principal es evaluar el alcance espacial y demográfico de una posible nube tóxica, así como identificar los equipamientos sensibles expuestos, en coherencia con los criterios establecidos por las Guías Técnicas de Protección Civil y el PLASEQCAT.

La simulación se ha realizado mediante *ALOHA 5.4.7*, utilizando como referencia los niveles *AEGL (Acute Exposure Guideline Levels)*, que permiten delimitar zonas de afectación según la concentración de la sustancia y sus efectos sobre la salud. Los resultados han sido integrados en *QGIS 3.40.3 "Bratislava"* para calcular distancias, superficies y distribución territorial de la pluma tóxica, así como para identificar los municipios, la población y los equipamientos potencialmente afectados.

El análisis se estructura en tres bloques:

- La representación espacial de la pluma de dispersión y su alcance según niveles *AEGL*.
- La estimación de población expuesta, con especial atención a los grupos vulnerables.
- La evaluación de equipamientos sensibles incluidos en las zonas de intervención y alerta.

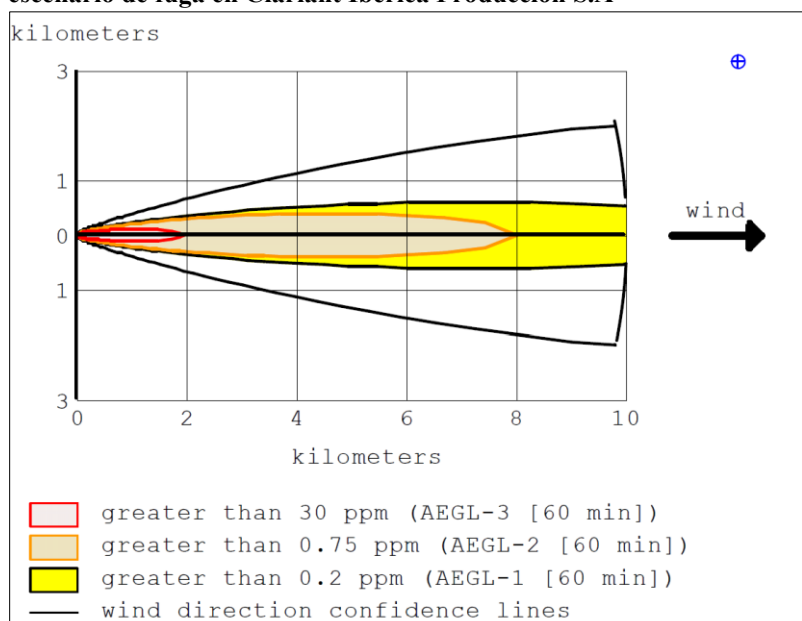
### 5.4.1 Resultados de ALOHA

La Figura 30 muestra la pluma de dispersión generada en *ALOHA 5.4.7* para el escenario de fuga de dióxido de azufre en la empresa Clariant Ibérica Producción S.A., ubicada en el polígono sur de la Canonja. La representación se basa en los niveles de concentración *AEGL*, que definen las posibles consecuencias para la salud de la población expuesta:

- Zona roja (*AEGL-3*): concentra valores superiores a 30 ppm. Se corresponde con efectos graves y potencialmente mortales para la población en general. En la simulación, esta zona alcanza una distancia máxima de 1,9 km desde el foco de emisión.
- Zona naranja (*AEGL-2*): concentra valores superiores a 0,75 ppm. Implica incomodidad o malestar notable. El alcance lineal de esta zona se extiende hasta 8,0 km
- Zona amarilla (*AEGL-1*): concentra valores superiores a 0,2 ppm. Genera molestias notables como ligero olor, sabor o irritación sensorial leve, especialmente en los grupos de riesgo. En la simulación, esta zona se prolonga más allá de los 10 km, límite máximo representado por el *software*.

De acuerdo con las *Guías Técnicas de Protección Civil* (Ministerio del Interior, 2003, pp. 84-85), los niveles AEGL-1 y AEGL-2 se consideran prioritarios en la planificación, al definir respectivamente la zona de alerta y la zona de intervención, mientras que AEGL-3 queda limitado al entorno inmediato de la instalación. El informe detallado de ALOHA se incluye en el Anexo 1.

**Figura 30. Pluma de dispersión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para el escenario de fuga en Clariant Ibérica Producción S.A**



Note: Threat zone picture is truncated at the 10 km  
 Fuente: Generación propia a partir de la simulación realizada con ALOHA 5.4.7  
 (EPA&NOAA, 2023)

#### 5.4.2 Análisis espacial en QGIS

La simulación realizada con *ALOHA* y los cálculos espaciales en *QGIS* arrojan resultados coincidentes, lo que refuerza la fiabilidad del análisis. Las distancias obtenidas en *QGIS* coinciden exactamente con los resultados proporcionados por *ALOHA* para cada nivel AEGL. Además, el uso del SIG permitió calcular las superficies afectadas en hectáreas. La Tabla 21 muestra las distancias y superficie para cada zona:

- AEGL-3 (zona roja): se limita al entorno inmediato de la instalación, con un alcance de 1,96 km y 32,7 ha (2,2 % del total). Implica efectos graves y potencialmente mortales.
- AEGL-2 (zona naranja): se extiende hasta 8,0 km, con una superficie de 478,5 ha (32,5 %). Está asociada a efectos serios o duraderos y posible dificultad para evacuar.
- AEGL-1 (zona amarilla): alcanza una distancia máxima de 10,0 km y una superficie de 961,0 ha, equivalente al 65,3 % de la pluma total. Corresponde a molestias leves, como irritación ocular, nasal o respiratoria en población general y grupos vulnerables.

El valor de 10 km para AEGL-1 se considera el límite superior del modelo *ALOHA* en esta simulación, ya que representa la máxima distancia alcanzada por la nube tóxica bajo las condiciones meteorológicas establecidas. Más allá de ese punto, las concentraciones estimadas caen por debajo del umbral de AEGL-1 y quedan fuera del alcance de la simulación.

**Tabla 21. Extensión espacial de la pluma de dispersión de SO<sub>2</sub> según niveles AEGL**

Zona AEGL	Alcance máximo (km)	%	Superficie (ha)	%
AEGL-3 (roja) = 30 ppm	1,9	9,5	32,7	2,2
AEGL-2 (naranja) = 0,75 ppm	8,0	40,2	478,5	32,5
AEGL-1 (amarillo) = 0,2 ppm	10,0	50,3	961,0	65,3
<b>Total</b>	<b>19,9</b>	<b>100,0</b>	<b>1472,2</b>	<b>100,0</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación realizada con ALOHA 5.4.7 (EPA&NOAA, 2023)*

La Figura 31 muestra la representación espacial del escenario de fuga de dióxido de azufre simulado con *ALOHA* e integrado en *QGIS*. Se visualizan las zonas de afectación por niveles AEGL-1 (amarillo), AEGL-2 (naranja) y AEGL-3 (rojo), delimitadas mediante buffers circulares centrados en el punto de fuga. También se representa la dirección estimada del viento y los establecimientos industriales de nivel alto. Esta visualización permite identificar con precisión las zonas reales de Intervención y alerta, en coherencia con los criterios establecidos por Protección Civil (2003).

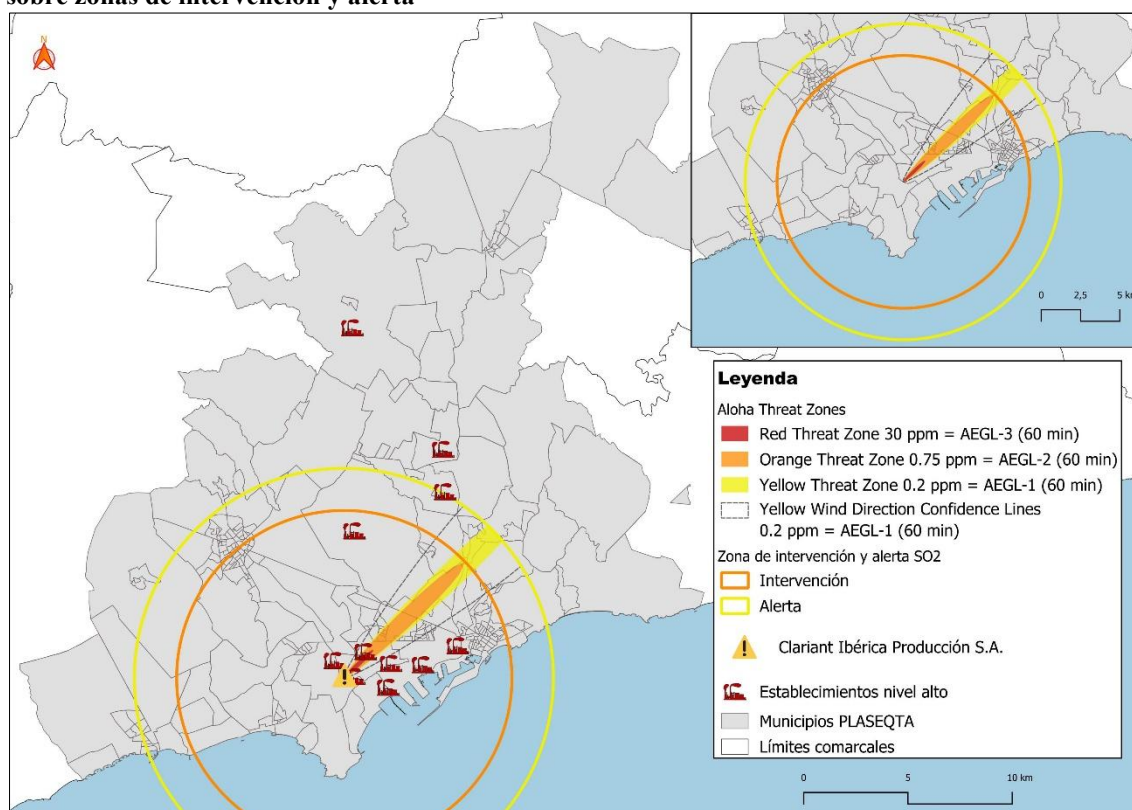
Como resultado del análisis espacial, se han identificado 14 municipios afectados por la proyección de la pluma tóxica simulada con *ALOHA*, al quedar total o parcialmente incluidos dentro del área de influencia de los niveles AEGL-1 y AEGL-2 (véase Tabla 22).

**Tabla 22. Municipios afectados por la proyección de la pluma tóxica simulada con ALOHA**

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Almofter             | 8. Perafort            |
| 2. Cambrils             | 9. Reus                |
| 3. Constantí            | 10. Riudoms            |
| 4. Pallaresos, Els      | 11. Salou              |
| 5. Canonja, La          | 12. Tarragona          |
| 6. Poble de Mafumet, La | 13. Vila-seca          |
| 7. Selva del Camp, La   | 14. Vinyols i els Arcs |

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 31. Pluma de dióxido de azufre simulada con ALOHA en Clariant Ibérica Producción S.A., sobre zonas de intervención y alerta**



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación realizada con ALOHA 5.4.7 (EPA&NOAA, 2023)

Para el análisis de población y equipamientos, se han definido zonas de influencia circulares basadas en los radios máximos de dispersión simulados con ALOHA para los niveles AEGL-1 y AEGL-2. Esta simplificación responde a criterios técnicos establecidos por Protección Civil (2003, p. 88), que recomiendan el uso de formas circulares cuando no se dispone de información precisa sobre la dirección del viento.

#### a) Población expuesta por niveles AEGL

El análisis demográfico realizado a partir de la simulación en ALOHA e integrado en QGIS permite estimar la población potencialmente afectada por el escenario de fuga de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Tal como se muestra en la Tabla 23, la población total expuesta asciende a 607.443 personas, de las cuales el 72,6 % se encuentra en la zona de intervención y el 27,4 % en la zona de alerta.

**Tabla 23. Población total afectada por el escenario de fuga según zona de intervención y alerta. (2024)**

Zona	Población total afectada	%
Intervención	441.088,0	72,6
Alerta	166.355,0	27,4
<b>Total</b>	<b>607.443,0</b>	<b>100,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Tabla 24 desglosa la población de la zona de intervención por municipio y grupo de riesgo, incluyendo menores de 15 años, mayores de 65 años, y mujeres. En total, se identifican 56.247 menores (15,8 %), 74.262 mayores (20,9 %) y 225.298 mujeres (63,3 %) en esta zona. Destacan Tarragona (52,3 %), Reus (24,3 %), Salou (8,7 %) y Vila-seca (8,5 %), municipios que concentran la mayor parte de la población expuesta y vulnerable.

**Tabla 24. Población expuesta en zona de intervención por municipio y grupo de riesgo. (2024)**

Municipio	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%	Total	%
Cambrils	1.077,0	1,9	895,0	1,2	5.663,0	2,5	7.635,0	2,1
Constantí	1.269,0	2,3	1.114,0	1,5	4.585,0	2,0	6.968,0	2,0
Canonja, La	1.126,0	2,0	1.389,0	1,9	4.974,0	2,2	7.489,0	2,1
Reus	14.916,0	26,5	17.505,0	23,6	53.892,0	23,9	86.313,0	24,3
Riudoms	16,0	0,0	14,0	0,0	34,0	0,0	64,0	0,0
Salou	4.568,0	8,1	5.083,0	6,8	21.233,0	9,4	30.884,0	8,7
Tarragona	27.827,0	49,5	42.950,0	57,8	115.261,0	51,2	186.038,0	52,3
Vila-seca	5.448,0	9,7	5.312,0	7,2	19.656,0	8,7	30.416,0	8,5
<b>Total</b>	<b>56.247,0</b>	<b>100,0</b>	<b>74.262,0</b>	<b>100,0</b>	<b>225.298,0</b>	<b>100,0</b>	<b>355.807,0</b>	<b>100,0</b>
% sobre el total	15,8	0,0	20,9	0,0	63,3	0,0	100,0	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET)

(Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

En la zona de alerta, la Tabla 25 muestra un total de 21.644 menores (15,8 %), 29.600 mayores (21,7 %) y 85.374 mujeres (62,5 %). En este caso, destacan los municipios de Reus (64,5 %), Tarragona (23,1 %) y Cambrils (10,1 %), como los más relevantes por su volumen poblacional.

**Tabla 25. Población expuesta en zona de alerta por municipio y grupo de riesgo. (2024)**

Municipio	P < 15 años	%	P ≥ 65 años	%	Mujeres	%	Total	%
Almóster		0,0		0,0		0,0	0,0	
Cambrils	1.908,0	8,8	3.062,0	10,3	8.803,0	10,3	13.773,0	10,1
Constantí		0,0		0,0	42,0	0,0	42,0	0,0
Pallaresos, Els	363,0	1,7	204,0	0,7	928,0	1,1	1.495,0	1,1
Pobla de Mafumet, La	8,0	0,0	0,0	0,0	122,0	0,1	130,0	0,1
Selva del Camp, La	9,0	0,0	8,0	0,0	38,0	0,0	55,0	0,0
Perafort		0,0		0,0		0,0	0,0	0,0
Reus	13.175,0	60,9	20.622,0	69,7	54.330,0	63,6	88.127,0	64,5
Riudoms		0,0		0,0	57,0	0,1	57,0	0,0
Tarragona	6.018,0	27,8	5.451,0	18,4	20.082,0	23,5	31.551,0	23,1
Vinyols i els Arcs	163,0	0,8	253,0	0,9	972,0	1,1	1.388,0	1,0
<b>Total</b>	<b>21.644,0</b>	<b>100,0</b>	<b>29.600,0</b>	<b>100,0</b>	<b>85.374,0</b>	<b>100,0</b>	<b>136.618,0</b>	<b>100,0</b>
% Sobre el total	15,8	0,0	21,7	0,0	62,5	0,0	100,0	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Tabla 26 resume la distribución total de población vulnerable en ambas zonas. En conjunto, se contabilizan 492.425 personas pertenecientes a grupos de riesgo, lo que representa el 81,1 % de la población expuesta. De ellas, el 72,3 % se localiza en la zona de intervención, mientras que el 27,7 % restante se ubica en la zona de alerta.

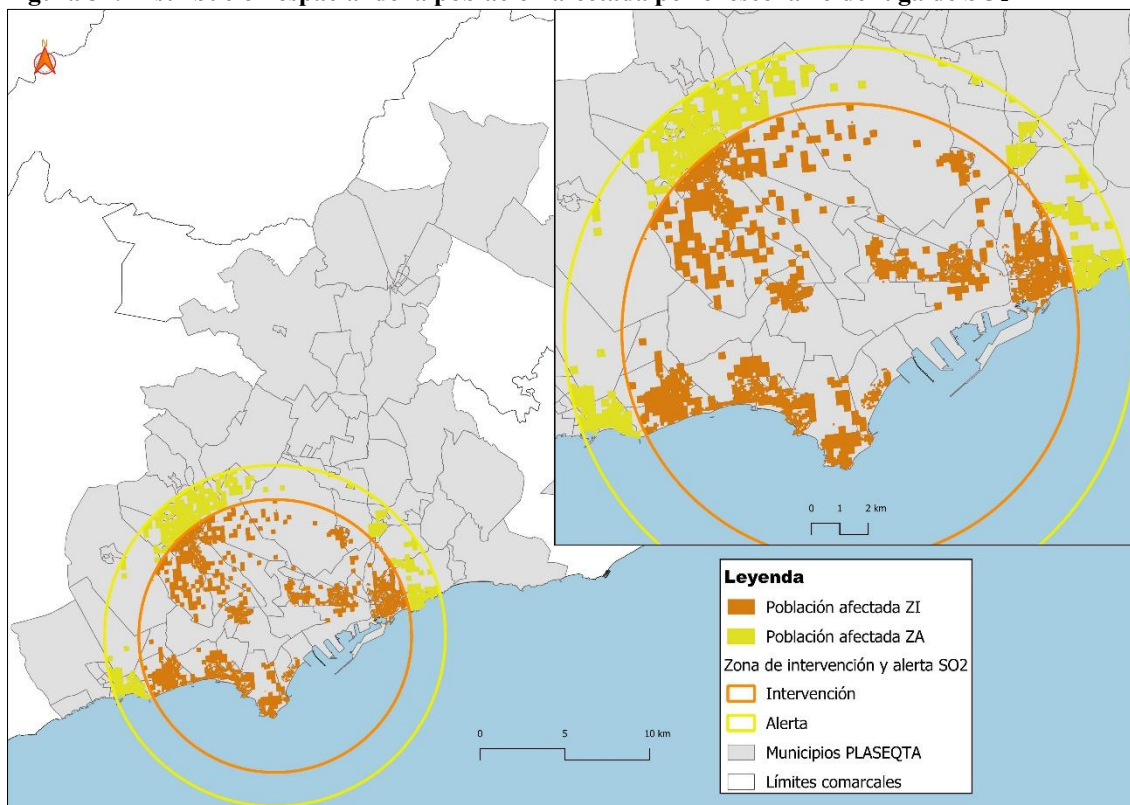
**Tabla 26. Distribución total de población en grupos de riesgo en zonas de intervención y alerta. (2024)**

Zona	Población en grupos de riesgo	%	Resto de población	Población total
Intervención	355.807,0	72,3	85.281,0	441.088,0
Alerta	136.618,0	27,7	29.737,0	166.355,0
<b>Total</b>	<b>492.425,0</b>	<b>100,0</b>	<b>115.018,0</b>	<b>607.443,00</b>
% sobre el total	81,1	0,0	18,9	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

La Figura 32 muestra la distribución espacial de la población afectada, diferenciando entre quienes se encuentran en la zona de intervención y en la zona de alerta, lo que permite identificar los municipios con mayor concentración de población expuesta.

**Figura 32. Distribución espacial de la población afectada por el escenario de fuga de SO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia a partir de Datos del Cens de població y del Registre estadístic de territori (RET) (Idescat, referencia a 1 de enero de 2023 y 2024)

Los resultados reflejan que la mayor parte de la población afectada se concentra en la zona de intervención, donde residen más de 441.000 personas que deberían confinarse en caso de accidente químico. En la zona de alerta, aunque no se justifica una intervención general, más de 136.000 personas vulnerables también requerirían medidas de autoprotección, como el confinamiento, especialmente en caso de exposición a niveles AEGL-1.

### b) Equipamientos sensibles expuestos

Además del análisis demográfico, se ha realizado una evaluación de los equipamientos sensibles incluidos dentro de las zonas de intervención y alerta. Estos equipamientos comprenden:

- Instalaciones deportivas
- Centros educativos
- Hospitales
- Residencias

Las Tablas 27 y 28 muestran el desglose por municipio y tipo de equipamiento. La figura 30 representa su localización espacial en relación con las zonas de intervención y alerta. Como se observa en la Tabla 27, en la zona de intervención se concentran 234 equipamientos sensibles, con predominio de los centros educativos (48 %) y las instalaciones deportivas (30 %). Tarragona y Reus destacan como los municipios con mayor número de equipamientos afectados, concentrando juntos más del 60 % del total. La Canonja, aunque cuenta con menos equipamientos, es relevante por su proximidad al foco de riesgo.

**Tabla 27. Equipamientos sensibles expuestos en zona de intervención**

Equipamientos	Cambrils	Canonja, La	Constantí	Reus	Salou	Tarragona	Vila-seca	Total	% por tipo
Instalaciones deportivas	3	5	4	9	12	26	12	71	30
Centros educativos	3	3	4	24	13	48	18	113	48
Hospitales		1		3	2	13	3	22	9
Residencias	1		1	14	2	8	2	28	12
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>50</b>	<b>29</b>	<b>95</b>	<b>35</b>	<b>234</b>	<b>100</b>
% sobre el total	3	4	4	21	12	41	15	100	

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

En la zona de alerta (Tabla 28) se localizan 97 equipamientos, principalmente centros educativos (47 %) y residencias (20 %). La mayor concentración corresponde a Reus (64 % del total), seguido por Tarragona (23 %) y Cambrils (13 %).

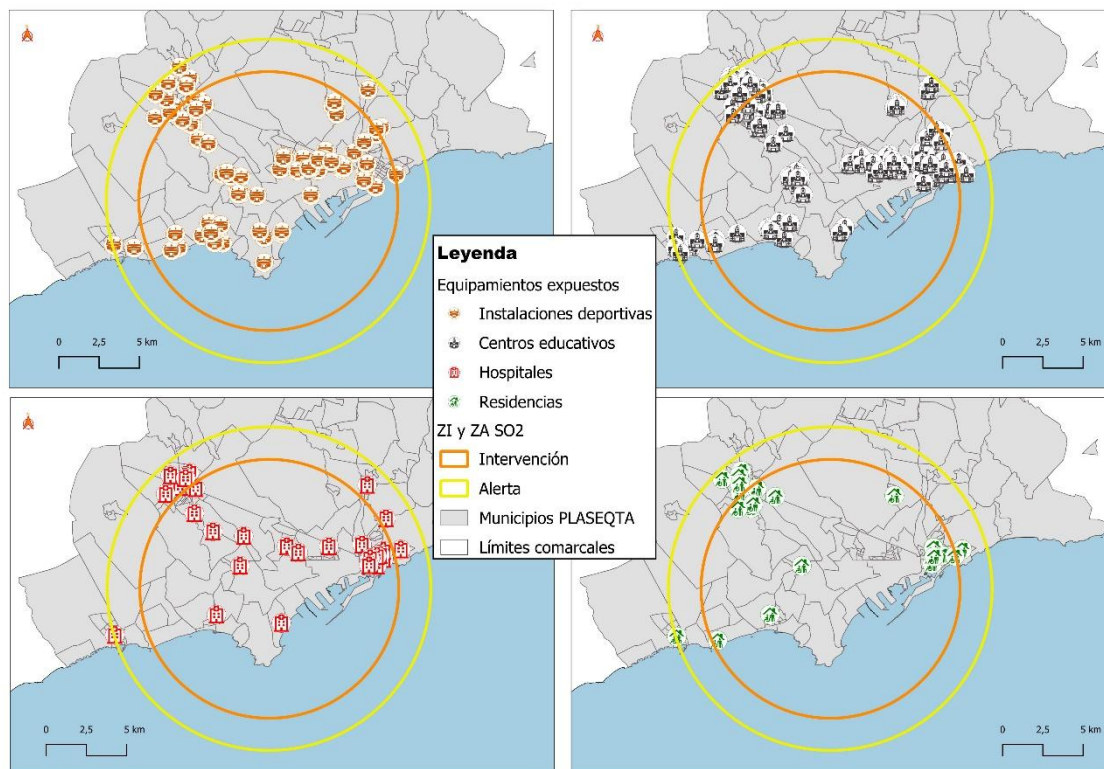
**Tabla 28. Equipamientos sensibles expuestos en zona de alerta**

Equipamientos	Cambrils	Reus	Tarragona	Total	% por tipo
Instalaciones deportivas	2	9	6	17	18
Centros educativos	7	30	9	46	47
Hospitales	2	10	3	15	15
Residencias	2	13	4	19	20
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>62</b>	<b>22</b>	<b>97</b>	<b>100</b>
% sobre el total	13	64	23	100	

Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana

La Figura 33 muestra la distribución espacial de los equipamientos sensibles expuestos al escenario de fuga de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), diferenciando entre las zonas de intervención y de alerta. Esta representación permite identificar los municipios con mayor concentración de infraestructuras críticas.

**Figura 33. Distribución espacial de equipamientos sensibles expuestos SO<sub>2</sub> en ZI y ZA**



*Fuente: Elaboración propia a partir de Datos de la Direcció General de Serveis Digitals i Experiència Ciutadana*

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que el escenario de fuga tóxica simulado tendría un impacto significativo sobre la población y los equipamientos sensibles, con una afectación especialmente elevada en la zona de intervención. La distribución espacial de los niveles AEGL refleja la exposición directa de los núcleos urbanos próximos y de las infraestructuras críticas localizadas en el área de influencia.

## 6. Limitaciones

Aunque el estudio ha cumplido con sus objetivos, existen aspectos que podrían desarrollarse en futuras investigaciones. En ese sentido, las líneas futuras son amplias y permiten incorporar nuevas variables de análisis, especialmente demográficas, como la población inmigrante, los turistas, la población en riesgo de pobreza o exclusión social o grupos especialmente susceptibles.

También sería pertinente abordar el riesgo asociado al transporte de mercancías peligrosas, tanto por vía viaria como ferroviaria, que atraviesan el área de estudio. Asimismo, podrían incluirse otros equipamientos sensibles no contemplados en este trabajo, como centros comerciales, restaurantes, espacios de ocio o establecimientos hoteleros.

Además, sería útil simular otros tipos de accidentes industriales graves, como explosiones, para analizar el alcance de una posible onda expansiva y los efectos dominó que podrían desencadenarse. Finalmente, trabajar con datos más actualizados permitiría mejorar la precisión del diagnóstico territorial.

## 7. Conclusiones y propuestas de mejora

Tras el análisis realizado en los capítulos anteriores, este apartado recoge las conclusiones específicas de cada objetivo y plantea una síntesis general del estudio, junto con propuestas de mejora orientadas a reforzar la planificación territorial y la gestión del riesgo químico en el Camp de Tarragona.

### 7.1 Conclusión del objetivo específico 1

El objetivo específico 1 consiste en *verificar el criterio utilizado por la Generalitat de Catalunya para delimitar los buffers de afectación correspondientes a las zonas de intervención y alerta máximas definidas en el PLASEQTA.*

Este objetivo se ha cumplido mediante el análisis documental y cartográfico, que ha permitido identificar los fundamentos técnicos utilizados en la delimitación de las zonas de intervención y alerta en el Camp de Tarragona.

Conclusiones principales:

1. La delimitación espacial de las zonas de intervención y alerta máximas responde a criterios técnicos definidos en la normativa estatal y autonómica, especialmente en relación con los valores de umbral de daño (AEGL), los escenarios accidentales representativos y los modelos probabilísticos de cálculo de riesgo, como el Análisis Cuantitativo de Riesgo (AQR).
2. La Generalitat de Catalunya incorpora los umbrales de daño (AEGL), los escenarios accidentales representativos (como rotura de tanques, fugas o incendios) y en el Análisis Cuantitativo de Riesgo (AQR) en el diseño del PLASEQTA, apoyándose en los informes de seguridad industrial elaborados por cada industria de nivel alto.
3. La cartografía oficial refleja la delimitación de estas zonas, incluyendo casos de solapamiento entre industrias, en los cuales las zonas de afectación se unifican para definir áreas conjuntas de intervención y alerta.

### 7.2 Conclusión del objetivo específico 2

El objetivo específico 2 consiste en *evaluar la exposición y la vulnerabilidad de la población ante el riesgo químico, considerando factores demográficos y sociales, así como la proximidad a instalaciones industriales de nivel alto.*

Este objetivo se ha alcanzado, puesto que el análisis espacial confirma que la exposición y la vulnerabilidad ante el riesgo químico en el Camp de Tarragona presentan una desigualdad territorial y social.

## Conclusiones principales:

### 1. Proximidad poblacional

Aunque la mayoría de la población vive a más de 5 km de los focos industriales, un 17,9 % se encuentra dentro de ese radio, y un grupo reducido reside a menos de 1 km, con mayor exposición directa. Formado por parte de los municipios de Alcover, la Canonja, Constantí, Perafort, la Pobla de Mafumet, Tarragona y Vila-seca.

### 2. Distribución por severidades

La severidad 5 concentra la mayor población expuesta, tanto en zona de intervención (108.000) personas como en zona de alerta (367.000), con alta presencia de población vulnerable en Tarragona, Vila-seca y Salou. Este nivel corresponde a nubes tóxicas tipo 3C, con alcances máximos de 10.000 m en alerta y 4.000 m en intervención, lo que explica su mayor impacto territorial.

A medida que disminuye la severidad, la población expuesta en intervención se reduce, mientras que en alerta aumenta. En severidad 4 (nubes tóxicas tipo 3B y explosiones), los municipios más afectados en intervención son Tarragona, Vila-seca y la Canonja (61.379) personas. En severidad 3 (explosiones, nubes inflamables, nubes tóxicas tipo 3A), destacan Tarragona, la Canonja y Vila-seca (17.376) personas. En zona de alerta, los municipios con mayor población expuesta en severidades 5 y 4 son Tarragona, Reus y Vila-seca, mientras que en severidad 3 se incorpora Salou.

Los municipios más afectados se repiten en todos los niveles de severidad. Por lo tanto, se demuestra una exposición constante y refuerza la necesidad de priorizarlos en la planificación del riesgo químico. Tarragona, Vila-seca, la Canonja, Salou y Reus destacan de forma reiterada tanto en zona de intervención como de alerta.

### 3. Perfil demográfico

Los municipios más expuestos concentran también a los principales grupos sensibles: menores de 15 años, mayores de 65 y mujeres. Esta coincidencia entre exposición y presencia de grupos vulnerables refuerza la necesidad de medidas específicas en Tarragona, Vila-seca, Salou y la Canonja.

### 4. Vulnerabilidad socioeconómica

La proximidad a los focos de riesgo está condicionada por la capacidad económica: las zonas más expuestas concentran hogares con rentas bajas y medias, mientras que las rentas altas se localizan en áreas periféricas menos afectadas. En severidad 3 el reparto es más equilibrado, aunque persiste la ausencia de rentas altas en la zona de intervención.

## 5. Equipamientos sensibles

En severidades 5 y 4 se concentra la mayoría de los centros educativos e instalaciones deportivas en zonas de alerta, junto con un número reducido pero significativo de hospitales y residencias en la zona de intervención.

Este patrón plantea la necesidad de reforzar la planificación de medidas de protección personal, las rutas de evacuación y la coordinación con servicios esenciales, especialmente en Tarragona, Vila-seca, la Canonja y Salou, así como en barrios vulnerables como Bonavista, Campclar o zonas próximas a las industrias de nivel alto.

## 6. Patrón territorial y social

La exposición se concentra en los clústeres industriales, y la vulnerabilidad social intensifica el riesgo en las zonas de intervención, este patrón refuerza la necesidad de integrar criterios demográficos y socioeconómicos. De este modo, se puede mejorar la planificación del riesgo químico de forma más equitativa.

## 7.3 Conclusión del objetivo específico 3

El objetivo específico 3 consiste en *analizar la distribución y la cobertura de las sirenas de alerta por riesgo químico, identificando las áreas pobladas que quedan fuera de su alcance.*

Este objetivo se ha cumplido, dado que la evaluación de la cobertura del sistema de sirenas ha permitido identificar con precisión las tanto las áreas cubiertas y aquellas que presentan ausencia de aviso, así como valorar propuestas de mejora.

Conclusiones principales:

### 1. Cobertura actual del sistema

En 2024, la cobertura del sistema de sirenas alcanza a 351.530 habitantes, con máximos en Tarragona, Salou y Vila-seca. En la zona de intervención la cobertura es de 156.659 personas.

### 2. Ausencias detectadas

La detección de 1.781 habitantes sin cobertura sonora en la zona de intervención, en Salou y Vila-seca, pone de relieve la necesidad de reforzar el sistema en zonas residenciales e industriales con población vulnerable, especialmente en la Poble de Mafumet, la Plana, la Pineda y el noreste de Salou.

### 3. Zona de alerta

Se cuantifican 298.720 habitantes sin cobertura sonora, especialmente en Reus, Tarragona y Cambrils. Aunque en la zona de alerta no se requiere intervención directa, la elevada población sin cobertura sonora en estos municipios plantea la necesidad de mejorar la comunicación de riesgo.

#### 4. Evolución temporal

La comparación 2022-2024 muestra un aumento del 78,9 % en la población cubierta (de 196.549 a 351.530). En la zona de intervención la mejora relativa ha sido del 74 % (de 90.030 a 156.659). La población no cubierta en intervención se reduce ligeramente, mientras que en alerta aumenta, probablemente por cambios recientes en la distribución poblacional.

#### 5. Necesidad de actualización

Aunque esta evolución tiene un peso secundario respecto al análisis de cobertura actual, refuerza la necesidad de revisar periódicamente el sistema. En consecuencia, la red de sirenas debería adaptarse a las transformaciones territoriales y demográficas del Camp de Tarragona.

### 7.4 Conclusión del objetivo específico 4

El objetivo específico 4 consiste en *analizar un posible escenario de accidente grave mediante el uso de ALOHA y QGIS, evaluando sus impactos y áreas de afectación.*

Este objetivo se ha cumplido, ya que la simulación ha permitido delimitar las zonas de intervención y alerta según los niveles AEGL, y cuantificar sus impactos sobre la población y equipamientos sensibles.

Conclusiones principales:

#### 1. Alcance del escenario simulado

Los radios calculados son de 1,9 km para AEGL-3, 8,0 km para AEGL-2 y 10 km para AEGL-1. Estos radios definen la zona de intervención (AEGL-2) y la zona de alerta (AEGL-1), en coherencia con los criterios de protección civil (2003).

#### 2. Municipios afectados

Se identifican 14 municipios dentro del área expuesta, con mayor incidencia en Tarragona, Reus, Vila-seca y Salou.

#### 3. Impacto y medidas necesarias

El escenario afectaría a más de 600.000 personas: un 72,6 % en la zona de intervención y un 27,4 % en la zona de alerta, con alta concentración de población vulnerable en Tarragona y Reus. Este impacto justifica medidas de confinamiento en intervención y de protección personal en la zona de alerta, especialmente en barrios vulnerables próximos a industrias de nivel alto.

#### 4. Equipamientos sensibles

Se registran 234 equipamientos, principalmente centros educativos (aproximadamente un 48 % en zona de intervención y alerta), instalaciones deportivas, residencias y hospitales.

#### 5. Consistencia metodológica

La coincidencia entre los radios calculados en *ALOHA* y las distancias obtenidas en *QGIS* confirma la fiabilidad del modelo aplicado.

#### 6. Aplicación práctica

El modelo ofrece una base sólida para orientar la planificación, ajustar recursos de aviso y confinamiento, y reforzar la coordinación con los servicios esenciales en los municipios más expuestos, como Alcover, Cambrils, Constantí, la Canonja, la Pobla de Mafumet, Perafot, Reus, Salou, Tarragona y Vila-seca.

### 7.5 Conclusión general

El presente trabajo ha cumplido con el objetivo general planteado: analizar el riesgo químico y delimitar las zonas de impacto sobre la población, con énfasis en los grupos sensibles y los equipamientos vulnerables, mediante el uso de herramientas SIG en las zonas de afectación del Camp de Tarragona, con el fin de aportar información útil para la planificación territorial y la protección civil.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten extraer varios aprendizajes claves:

El análisis documental permitió comprender los criterios oficiales que definen las zonas de intervención y alerta; el análisis espacial reveló desigualdades territoriales y sociales en la exposición y vulnerabilidad de la población; la evaluación de la cobertura de sirenas identificó áreas con menor cobertura y planteó propuestas de mejora; y finalmente, la simulación de un escenario de fuga de SO<sub>2</sub> evidenció el alcance real de los impactos sobre la población y los equipamientos sensibles.

El uso combinado de *ALOHA* y *QGIS* ha demostrado ser una herramienta eficaz para integrar simulaciones técnicas con análisis territoriales, permitiendo no solo representar escenarios de riesgo, sino también identificar patrones de exposición y vulnerabilidad poblacional que refuerzan la planificación de emergencias desde una perspectiva geográfica.

El estudio confirma que el Camp de Tarragona, al concentrar un importante complejo petroquímico junto a núcleos urbanos densos, requiere una planificación de protección civil que incorpore criterios espaciales, sociales y económicos. La vulnerabilidad de ciertos barrios y

municipios refuerza la necesidad de políticas de prevención y comunicación del riesgo más inclusivas.

Los resultados obtenidos pueden servir de apoyo a la Dirección General de Protección Civil y a los municipios implicados, al aportar información sobre población vulnerable, equipamientos críticos y carencias de cobertura acústica que deben ser consideradas en la gestión del riesgo químico.

En definitiva, este trabajo aporta una visión territorial e integrada del riesgo químico en el Camp de Tarragona, contribuyendo tanto al ámbito académico como a la práctica de la protección civil. Sus resultados refuerzan la necesidad de incorporar el análisis espacial y social en la planificación de emergencias, con el fin de mejorar la resiliencia y la seguridad de la población.



## 8. Referencias

- Castro Delgado, R., & Arcos González, P. (1998). El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 72(6).  
<https://doi.org/10.1590/S1135-57271998000600002>
- Cavanagh, D. N. (2011). *Un enfoque basado en el riesgo para el modelado de vulnerabilidad humana y el análisis de edificios ocupados*.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2020). Riesgos químicos: *Tipos de eventos debido al manejo de sustancias y materiales peligrosos*. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, Gobierno de México. Disponible en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/601760/TEMA\\_4\\_RIESGOS\\_QUIMICOS.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/601760/TEMA_4_RIESGOS_QUIMICOS.pdf)
- Cetinyokus, S., Dinc, D., & Ata, S. (2024). Consequences analysis of a natural gas pipeline: The case of the trans- ANATOLIAN natural gas pipeline. *Process Safety Progress*, 43(2), 321-332. <https://doi.org/10.1002/prs.12574>
- Generalitat de Catalunya. (2007). *Guia de criteris per a la planificació territorial en l'entorn dels establiments industrials afectats*. Departamento de Empresa y Trabajo. Disponible en <https://empresa.gencat.cat/web/.content/17-seguretat-industrial/normativa/Risc-quimic/establiments-seveso/04-planificacio-del-territori-als-voltants-establiments-Seveso/Guia-de-criteris-per-a-la-planificacio-del-territori-en-l-entorn-dels-establiments-industrials-afectats.pdf>
- Generalitat de Catalunya. (2008). *Instrucció 14/2008 per a la realització de les anàlisis quantitatives de riscos (AQR)*. Departament d'Empresa i Ocupació. Disponible en <https://empresa.gencat.cat/web/.content/17-seguretat-industrial/normativa/Risc-quimic/establiments-seveso/01-accidents-greus/2008/instruccio-14-2008-per-la-realitzacio-de-les-AQR-2.pdf>
- Generalitat de Catalunya, Departament d'interior, Direcció General de Protecció civil. (2015). *Pla d'emergència exterior del Sector Químic de Catalunya (PLASEQCAT)* (DOGC núm. 6824). Disponible en [https://www.eic.cat/promocio/normativa/Butlleti/2015/Butlleti\\_052015/pdf/20206303.pdf](https://www.eic.cat/promocio/normativa/Butlleti/2015/Butlleti_052015/pdf/20206303.pdf)
- Gentili, J. O., Fernández, M. E., & Campo, A. M. (2018). Vulnerability in Bahía Blanca. Estimating technology-related risks. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 659-667. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.005>

Gobierno Vasco. (3 de febrero de 2025). *Planes de emergencia exterior. Euskadi*. Disponible en <https://www.euskadi.eus/planes-emergencia-exterior/web01-a2larri/es/>

González Ferradás, E., Boada, F. J. R., Aznar, A. M., Gómez, J. N., Gimeno, J. R., (2002).

Zonas de planificación para accidentes graves de tipo térmico: En el ámbito del Real Decreto 1254/99 (Seveso II): [guía técnica]. Murcia: Ministerio del Interior, Dirección General de Protección Civil, 2002.  
<https://portalinvestigacion.um.es/documentos/63c0b23f3df4c204fbaf50d3>

Huang, L., Wan, W., Li, F., Li, B., Yang, J., & Bi, J. (2011). A two-scale system to identify environmental risk of chemical industry clusters. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.117>

Lee, J.-J., Ham, T.-Y., & Jeong, W.-S. (2022). Economic risk assessment of ammonium nitrate explosions at the Busan Port by determining the building damage using a 3D explosion simulation. *Heliyon*, 8(12), e12285. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12285>

Li, G., Pu, G., Yang, J., & Jiang, X. (2024). A multidimensional quantitative risk assessment framework for dense areas of stay points for urban HazMat vehicles. *Reliability Engineering & System Safety*, 241, 109637. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109637>

López Trigal, L., Fernandes, J. A. R., Sposito, E. S., & Trinca Figuera, D. (Eds.). (2015). *Diccionario de geografía aplicada y profesional: Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio*. Universidad de León.

Ministerio del Interior, Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (2003). *Guía técnica de protección civil: Zonas de planificación para accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas de tipo tóxico*. Disponible en <https://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiasTecnicas/GuiaTecnicaZonasPlanificacionAccidentesToxicos.pdf>

Ministerio del Interior. (2010). *Guía para la ordenación territorial en el marco del artículo 12 de la Directiva Seveso II (96/82/CE), modificada por la Directiva 105/2003/CE*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Disponible en <https://www.interior.gob.es/opencms/pdf/archivos-y-documentacion/documentacion-y-publicaciones/publicaciones-descargables/proteccion-civil/Guia-para-la-ordenacion-territorial-en-el-marco-del-articulo-12-de-la-Directiva-Seveso-II-96-82-CE-modificada-por-la-Directiva-105-2003-CE-NIPO-126-10-152-0.pdf>

Ministerio del Interior. (2011). *Directriz básica de protección para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas*. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Disponible en <https://www.interior.gob.es/opencms/pdf/archivos-y-documentacion/documentacion-y-publicaciones/publicaciones-descargables/proteccion-civil/Directriz-basica-de-proteccion-civil-para-el-control-y-planificacion-ante-el-riesgo-de-accidentes-sustancias-peligrosas-NIPO-126-11-141-8.pdf>

Ministerio del Interior. (21 de junio de 2023). *Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes con sustancias peligrosas*. Boletín Oficial del Estado. Disponible en <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-18682>

Ni, H., Rui, Y., Wang, J., & Cheng, L. (2014). A Synthetic Method for Atmospheric Diffusion Simulation and Environmental Impact Assessment of Accidental Pollution in the Chemical Industry in a WEBGIS Context. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(9), 9238-9255. <https://doi.org/10.3390/ijerph110909238>

Oliveira, A. A. D., & Borges, J. T. (2018). Análise da vulnerabilidade populacional aos riscos tecnológicos ambientais na área urbana da cidade de Manaus-AM. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 49. <https://doi.org/10.5380/dma.v49i0.59260>

Rajeev, K., Soman, S., Renjith, V. R., & George, P. (2019). Human vulnerability mapping of chemical accidents in major industrial units in Kerala, India for better disaster mitigation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101247. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101247>

*Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.*

Soto, D., & Renard, F. (2015). New prospects for the spatialisation of technological risks by combining hazard and the vulnerability of assets. *Natural Hazards*, 79(3), 1531-1548. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1912-6>

- Tahmid, M., Dey, S., & Syeda, S. R. (2020). Mapping human vulnerability and risk due to chemical accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 68, 104289. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104289>
- Xiao, Z., & Lu, G. (2017). The simulation platform of dangerous chemical gas diffusion based on gauss plume model. *Chemical Engineering Transactions*, 62, 889-894. <https://doi.org/10.3303/CET1762149>
- Yu, H., Lee, W.-K., & Sohn, J. R. (2020). Risk hotspot of chemical accidents based on spatial analysis in Ulsan, South Korea. *Safety Science*, 123, 104544. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104544>

## 9. Anexo 1

**Tabla 29. Establecimientos industriales, sustancias, efectos y clasificación de severidad**

Industrias de nivel alto	Categoría	Màx. de ZA	Màx. de ZI
<b>Severidad 2</b>		<b>16</b>	<b>13</b>
Catalana de tractament d'olis residuals sa (cator)		16	13
Incendio	2		
<b>Severidad 3</b>		<b>4600</b>	<b>1900</b>
Basf española sl (parc exterior de tancs)		675	463
Nube inflamable	3		
Basf sonatrach propanchem sa		4600	1900
Nube tóxica	3A		
Dow chemical iberica sl (nord)		1000	470
Explosion	3		
dow chemical iberica sl (terminal maritima)		600	280
Explosion	3		
Elix polymeros sl		3610	1336
Nube tóxica	3A		
Ercros sa (vila-seca 1)		1800	475
Nube tóxica	3A		
Euroenergo espanya sl		171	133
Incendio	3		
Repsol petroleo sa (port)		0	655
Nube inflamable	3		
repsol petroleo sa (tancs)		537	216
Nube tóxica	3A		
sarpi constanti slu		1551	1130
Nube tóxica	3		
Terminales quimicos sa (terquimsa ii)		1000	391
Nube tóxica	3A		
<b>Severidad 4</b>		<b>10000</b>	<b>3450</b>
Basf española sl (parc de tancs port)		820	556
Nube inflamable	3B		
Dow chemical iberica sl (fabrica de derivats)		10000	3450
Nube tóxica	3B		
Ercros sa (vila-seca 2)		8100	1700
Nube tóxica	3B		
Repsol butano sa		3258	2525
Explosion	3B		
Terminales quimicos sa (terquimsa iii)		1250	280
Nube tóxica			
<b>Severidad 5</b>		<b>10000</b>	<b>4000</b>
Asfaltos españoles sa		2200	285
Nube tóxica	3C		
Basf española sl (cip)		10000	3200
Nube tóxica	3C		
Clariant iberica produccion sa		6700	4000
Nube tóxica	3C		
Repsol petroleo sa		10000	3300
Nube tóxica	3C		
Repsol quimica sa		7300	1800
Nube tóxica	3C		
Sociedad española de carburos metalicos sa		5200	3200
Nube tóxica	3C		
Terminales portuarias sl		1700	835
Nube tóxica	3C		

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT) (Generalitat de Catalunya, Dirrecció General de Protecció Civil, 2015)

**Tabla 30. Reclasificación completa de valores**

fid	NOM EMPRES	Substancia	Efecto	Categoria	Efecto_norm	Severidad_max	ZI	ZA
4	ASFALTOS ESPAÑOLES SA	Sulfur d'hidrogen	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	285	2200
5	BASF ESPAÑOLA SL (CIP)	Àcid clorhídric	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	3200	10000
26	BASF ESPAÑOLA SL (PARC DE TANCS PORT)	Propà	Núvol inflamable	3B	Nube inflamable	4	556	820
25	BASF ESPAÑOLA SL (PARC EXTERIOR DE TANCS)	Propilè	Núvol inflamable	3	Nube inflamable	3	463	675
30	BASF SONATRACH PROPANCHEM SA	Clor	Núvol tòxic	3A	Nube tòxica	3	1900	4600
23	CATALANA DE TRACTAMENT D'OLIS RESIDUALS SA (CATOR)	Mescla d'hidrocarburs	Incendi de Toll	2	Incendio	2	13	16
8	CLARIANT IBERICA PRODUCCION SA	Diòxid de sofre	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	4000	6700
31	COMPÀÑIA LOGISTICA DE HIDROCARBUROS CLH SA	Gasolina	UCVE	3	explosion	3	180	380
24	DOW CHEMICAL IBERICA SL (FABRICA DE DERIVATS)	Òxid d'etilè	Núvol tòxic	3B	Nube tòxica	4	3450	10000
10	DOW CHEMICAL IBERICA SL (Nord)	Propilè	Explosio	3	Explosion	3	470	1000
31	DOW CHEMICAL IBERICA SL (Terminal Marítima)	Etilè	Explosió	3	Explosion	3	280	600
33	ELIX POLYMEROS SL	Acrilonitril	Dispersió tòxica	3A	Nube tòxica	3	1336	3610
3	ERCROS SA (Vila-seca 1)	Amoníac	Núvol tòxic	3A	Nube tòxica	3	475	1800
1	ERCROS SA (Vila-seca 2)	Òxids de nitrogen	Núvol tòxic	3B	Nube tòxica	4	1700	8100
13	EUROENERGO ESPAÑA SL	Gasolina	Incendi de Toll	3	Incendio	3	133	171
27	REPSOL BUTANO SA	Propà	Bleve	3B	Explosion	4	2525	3258
17	REPSOL PETROLEO SA	Metà	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	3300	10000
34	REPSOL PETROLEO SA (Port)	GLP	Núvol inflamable	3	Nube inflamable	3	655	0
16	REPSOL PETROLEO SA (Tancs)	Benzè	Núvol Tòxic	3A	Nube tòxica	3	216	537
28	REPSOL QUIMICA SA	Òxid de propilè	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	1800	7300
35	SARPI CONSTANTI SLU	Residuo líquido tòxic	Dispersió tòxica	3	Nube tòxica	3	1130	1551
18	SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CARBUROS METALICOS SA	Diòxid de sofre	Núvol tòxic	3C	Nube tòxica	5	3200	5200
19	TERMINALES PORTUARIAS SL	Acrilonitril	Núvol Tòxic	3C	Nube tòxica	5	835	1700
20	TERMINALES QUIMICOS SA (TERQUIMSA II)	Tetraclorur de carboni	Dispersió tòxica	3A	Nube tòxica	3	391	1000
36	TERMINALES QUIMICOS SA (TERQUIMSA III)	Benzè	Núvol tòxic	3B	Nube tòxica	4	280	1250

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Pla d'emergència exterior del sector químic de Catalunya (PLASEQCAT) (Generalitat de Catalunya, Dirrecció General de Protecció Civil, 2015, pp. 192 199) para el sector de riesgo de Tarragona).

**Figura 34. Datos simulación ALOHA**

Text Summary

ALOHA® 5.4.7



```
SITE DATA:
  Location: LA CANONJA, SPAIN
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.12 (unsheltered single storied)
  Time: November 13, 2025 1735 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: SULFUR DIOXIDE
  CAS Number: 7446-9-5
  Molecular Weight: 64.06 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 0.2 ppm AEGL-2 (60 min): 0.75 ppm AEGL-3 (60 min): 30
  ppm
  IDLH: 100 ppm
  Ambient Boiling Point: -10.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from 225° true at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 6 tenths
  Air Temperature: 14° F Stability Class: D
  No Inversion Height Relative Humidity: 70%

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 852 kilograms Source Height: 0
  Release Duration: 1 minute
  Release Rate: 14.2 kilograms/sec
  Total Amount Released: 852 kilograms
  Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:
  Model Run: Heavy Gas
  Red : 1.9 kilometers --- (30 ppm = AEGL-3 [60 min])
  Orange: 8.0 kilometers --- (0.75 ppm = AEGL-2 [60 min])
  Yellow: greater than 10 kilometers --- (0.2 ppm = AEGL-1 [60 min])
```

Fuente: Generación propia con ALOHA 5.4.7 (EPA/NOAA), 2025