

Deliverable DC.5.3_2:

Evaluación del impacto de la contaminación atmosférica y el aumento de la temperatura ambiental sobre la salud de la población de Navarra 2014-2018.

Action C.5.3

Grant Agreement n°. LIFE 16 IPC/ES/000001
Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of
Climate Change Adaptation policy in a region: Navarra

[LIFE-IP NAdapta-CC]

LIFE 2016 INTEGRATED PROJECTS CLIMATE ACTIONS

Project start date: 2017-10-02






Project end date: 2025-12-31

Coordinator:

Partners:

DISSEMINATION LEVEL		
PU	Public	<input checked="" type="checkbox"/>
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	<input type="checkbox"/>
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services)	<input type="checkbox"/>
CC	Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)	<input type="checkbox"/>

Autoría:

-  Evelise Pereira, Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global].
-  Mark Nieuwenhuijsen, Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global].
-  Marta Cirach, Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global].
-  Natalie Mueller, Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global].
-  Carolyn Daher. Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global].

Referencia recomendada a efectos bibliográficos:

Pereira, E., Nieuwenhuijsen, M., Cirach, M., Mueller, N., Daher, C. (2020). *Evaluación de Impacto de la Contaminación Atmosférica y el Aumento de la Temperatura Ambiental sobre la Salud de la Población de Navarra 2014-2018*. Acción C.5. del Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC (LIFE 16 IPC/ES/000001) de la Unión Europea. Barcelona. Instituto de Salud Global de Barcelona [IS Global] para el Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra [ISPLN] y el Servicio de Economía Circular y Cambio Climático del Gobierno de Navarra.

Este documento corresponde al entregable DC5.3_2 previsto en el Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC.

El Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC LIFE 16 IPC/ES/000001 está ejecutado con la contribución financiera del programa LIFE de la Unión Europea

El contenido de este informe no refleja la opinión oficial de la Unión Europea. La responsabilidad de la información y los puntos de vista expresados en esta publicación recaen completamente en su autoría.

www.lifenadapta.eu

Versión 1. 31 de diciembre de 2020

Table of contents

0.	SUMMARY	6
1.	CONTEXTO	7
1.1	El objetivo de la consultoría	8
2.	METODOLOGÍA.....	9
2.1	El objeto de estudio: La Comunidad Foral de Navarra	9
2.2	Evaluación del impacto en la salud.....	10
2.3	Exposiciones ambientales [<i>baseline</i>]	12
2.4	Escenarios hipotéticos sobre niveles de exposición [<i>counterfactual</i>]	14
2.5	Análisis de sensibilidad.....	15
2.6	Análisis de impacto económico	16
3.	RESULTADOS.....	17
3.1	Exposiciones ambientales por año	17
3.2	Impacto sobre la mortalidad.....	23
3.3	Análisis de sensibilidad.....	27
3.4	Análisis de impacto económico	27
4.	CONCLUSIONES	28
5.	REFERENCIAS.....	30
6.	SUPLEMENTOS	35
6.1	Suplemento 1. Marco de la evaluación del impacto en la salud.....	35
6.2	Suplemento 2. Ejemplo de asignación de valor para PM _{2.5}	36
6.3	Suplemento 3. Exposiciones ambientales por municipio y año.....	37
6.3.1	Temperatura.....	37
6.3.2	PM _{2.5}	39
6.3.3	NO ₂	41
6.3.4	O ₃	43
6.4	Suplemento 4.....	45

Tables

Tabla 2-1 Datos poblacionales y de mortalidad en Navarra.....	9
Tabla 2-2 Riesgos relativos y funciones de exposición-respuesta por exposición ambiental.	14
Tabla 2-3 Escenarios hipotéticos de exposición a contaminación atmosférica.....	15
Tabla 3-1 Temperatura media diaria [24 horas] en Navarra.....	17
Tabla 3-2 Concentración media anual de PM _{2,5} en Navarra.	18
Tabla 3-3 Concentración media anual de NO ₂ en Navarra.....	19
Tabla 3-4 Concentraciones máximas diarias [8 horas] de O ₃ en Navarra.....	20
Tabla 3-5 Carga total de mortalidad atribuible en Navarra, por exposición ambiental y año..	25

Figures

Figura 1 Red de carreteras principales, áreas naturales y distribución poblacional en la provincia, por municipios y zonas de la calidad de aire de Navarra.....	10
Figura 2 Exposiciones ambientales por municipio y año [mayor resolución en Suplemento 3].	22
Figura 3 Diagramas de cajas del impacto sobre la mortalidad anual al nivel de municipio, por exposición ambiental y por año.....	24
Figura 4 Impacto sobre la mortalidad y economía por municipio entre 2014 y 2018.....	24

0. SUMMARY

This document presents the results obtained in the consultancy related to a health impact assessment study in the scope of the LIFE-IP NAdapta-CC project. The objective of the study was to assess the impacts due to the air pollution (i.e. PM2.5, NO2, and O3) and the increase in environmental temperature on Navarre's population health, specifically on the mortality burden associated with the adult population (i.e. inhabitants over 20 years). A health impact assessment was applied from a quantitative and comparative perspective of risks and impacts [Ezzati et al., 2004; Jeffrey et al., 2018; Mueller et al., 2017; World Health Organization, 2015]. It was applied for the period between 2014 and 2018 to quantitatively illustrate the possible impacts on health during the studied years. The analysis was carried out by Navarre's municipalities, and by Basic Health Zones [*Zonas Básicas de Salud*] in Pamplona city.

Considering all exposures, 761 [95% CI: 636; 901] preventable deaths were attributable to levels of temperature, PM2.5 and O3 that exceeded the values considered in the counterfactual scenario in the studied period. For exposure to NO2, none of the municipalities exceeds the values considered in the counterfactual scenario. Due to a reduction in the intensity of environmental exposures throughout the period studied, the general impact decreases over the years [2014-2018]. A large part of the estimated impact (i.e. percentage of total deaths from natural causes that could be preventable annually) in the territory is concentrated in the *Ribera del río Ebro* area. The maximum number of attributable deaths is concentrated in the most urban areas of the Province, mainly in the Region of Pamplona, where about half of the population of Navarre is located.

The control of emissions, waste and energy consumption by industrial activities can contribute to the reduction of emissions of atmospheric pollutants, the dispersion of these pollutants to other areas of the Province and their effects on climate change, consequently, to decrease its impact on the population of Navarre. In addition, the control of urban traffic, the promotion of active transport (e.g. walking and cycling) and the increase in vegetation cover and green spaces in within and between cities, can contribute to the reduction of air pollution and extreme temperatures in the summer, reducing its impact on the population of Navarre.

1. CONTEXTO

El proyecto LIFE-IP NAdapta-CC¹, tiene el objetivo principal de “aumentar la resiliencia frente al cambio climático en Navarra mediante la intersectorialidad, sostenibilidad a largo plazo, participación y trabajo en redes” [LIFE-IP NAdapta-CC, 2017] y propone integrar diferentes políticas sectoriales, de manera que sean programadas, desarrolladas y coordinadas en una única estrategia regional frente el cambio climático [LIFE-IP NAdapta-CC, 2017].

En esta perspectiva, tanto la temperatura ambiental como la contaminación atmosférica componen factores importantes de ser previstos y controlados, así como sus impactos sobre el medio ambiente y la salud de la población. Los efectos sobre la salud humana están incluidos como componentes de la evaluación ambiental según la normativa europea [Directiva Europea 2001/42/CE, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas sobre el medio ambiente] y, por consecuencia, en la normativa estatal [Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental]. En este contexto, la evaluación del impacto en la salud [EIS] supone una herramienta práctica y conveniente para prever los impactos provenientes del cambio climático sobre la salud de la población de Navarra. La EIS es una combinación de procedimientos, métodos y herramientas que evidencian sistemáticamente los potenciales efectos de una política, plan, programa o proyecto sobre la salud de una población y su distribución territorial [WHO Regional Office for Europe, 1999]. Además, permite comparar y evaluar diferentes escenarios de exposiciones [en este caso, ambientales vinculados con el cambio climático] para informar la toma de decisiones, políticas e intervenciones.

La contaminación atmosférica es uno de los principales factores de riesgo sobre la salud de la población a una escala mundial [Jeffrey et al., 2018] y se estima que causa entre 4,9 y 8,9 millones de muertes prematuras cada año [Burnett et al., 2018; Jeffrey et al., 2018]. Más del 60% de estas muertes prematuras resultan de la contaminación atmosférica ambiental [Jeffrey et al., 2018], generada por el tráfico motorizado, centrales eléctricas, industrias, agricultura, construcción, sistemas de calefacción, y otras actividades. Dada la diversidad de fuentes, interacciones y dispersiones, la contaminación atmosférica ambiental es un problema complejo y necesita de una actuación estratégica e integrada.

Actualmente, se ha asociado la contaminación atmosférica ambiental con un elevado número de efectos adversos en salud [WHO Regional Office for Europe, 2013], principalmente no contagiosos, que incluyen el nacimiento prematuro [Sapkota et al., 2010], el peso bajo al nacer [Pedersen et al., 2013], la mortalidad infantil [Héroux et al., 2015], el asma en niños [Khreis et al., 2017], la enfermedad cardiovascular en adultos [Cesaroni et al., 2014], la enfermedad

¹ El proyecto LIFE-IP NAdapta-CC ha recibido financiación del Programa LIFE de la Unión Europea y tiene como socios: Gobierno de Navarra, Gestión Ambiental de Navarra [GAN-NIK], Tecnología e Infraestructuras Agroalimentarias [INTIA], Navarra de Suelo y Vivienda [NASUVINSA], Navarra de Infraestructuras Locales [NILSA] y la Universidad Pública de Navarra [UPNA].

cerebrovascular [accidente cerebrovascular] en adultos [Massimo Stafoggia et al., 2014], el cáncer de pulmón en adultos [Hamra et al., 2015; Nafstad et al., 2003], la bronquitis crónica en adultos [Héroux et al., 2015], la diabetes de tipo 2 en adultos [Eze et al., 2015], la mortalidad por cualquier causa en todos los grupos de edad [Beelen et al., 2014; World Health Organization, 2014], y también con días de trabajo perdidos entre la población en edad de trabajar y días de actividad restringida en todas las edades [Héroux et al., 2015].

De la misma manera, el aumento de la temperatura ambiental y la ocurrencia del efecto islas de calor, provenientes de construcciones adensadas en áreas urbanas [Sun et al., 2019], se han asociado con enfermedades respiratorias y cardiovasculares [Ma et al., 2014; Turner et al., 2012] y aumento en la mortalidad por cualquier causa en todos los grupos de edad [Gasparrini et al., 2015; Guo et al., 2015, 2016].

Así, este documento presenta la propuesta de consultoría para la evaluación de los impactos provenientes de la contaminación atmosférica y del aumento de la temperatura ambiental sobre la salud de la población de Navarra.

1.1 El objetivo de la consultoría

Evaluar los impactos de la contaminación atmosférica y aumento de la temperatura ambiental provenientes de actividades antrópicas sobre la salud de la población de la Comunidad Foral de Navarra, específicamente su carga de mortalidad asociada.

2. METODOLOGÍA

2.1 El objeto de estudio: La Comunidad Foral de Navarra

La región de Navarra es una comunidad foral situada en el norte de la península Ibérica. Posee una extensión de 10.391 km² y hace frontera con el departamento francés de Pirineos Atlánticos al nordeste, con el País Vasco al noroeste, con Aragón al este y sureste, y al sur con La Rioja [Gobierno de Navarra, n.d.].

Está compuesta por 272 municipios y cuenta con una población de 647.554 habitantes [Tabla 2-1 y Figura 1]. Cerca de un tercio de la población vive en la capital, Pamplona, y más de la mitad en su área metropolitana [Instituto Nacional de Estadística, 2018].

Tabla 2-1 Datos poblacionales y de mortalidad en Navarra.

	2014	2015	2016	2017	2018
Población - Total [n]	640.790	640.476	640.647	643.234	647.554
Población adulta - Mayores de 20 años [n]	509.913	509.004	508.601	510.303	513.495
Muertes naturales - Total [n]	5.511	5.680	5.727	5.844	5.819
Muertes naturales adultas - Mayores de 20 años [n]	5.248	5.399	5.481	5.576	5.545

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2018

La geografía y el clima de Navarra son muy variados, divididos en tres regiones: Montaña [Zona Norte], Zona Media y Ribera, además de la Comarca [o Cuenca] de Pamplona [Figura 1]. La mitad norte del territorio es montañosa, dominado por la cordillera pirenaica, en una mezcla de influencia de montañas sobre el clima, húmedo y con precipitaciones frecuentes, mientras que la mitad sur es un territorio llano dominado por las llanuras aluviales del valle del Ebro, con un clima más mediterráneo, temperaturas más altas y precipitaciones menos frecuentes [Gobierno de Navarra, n.d.].

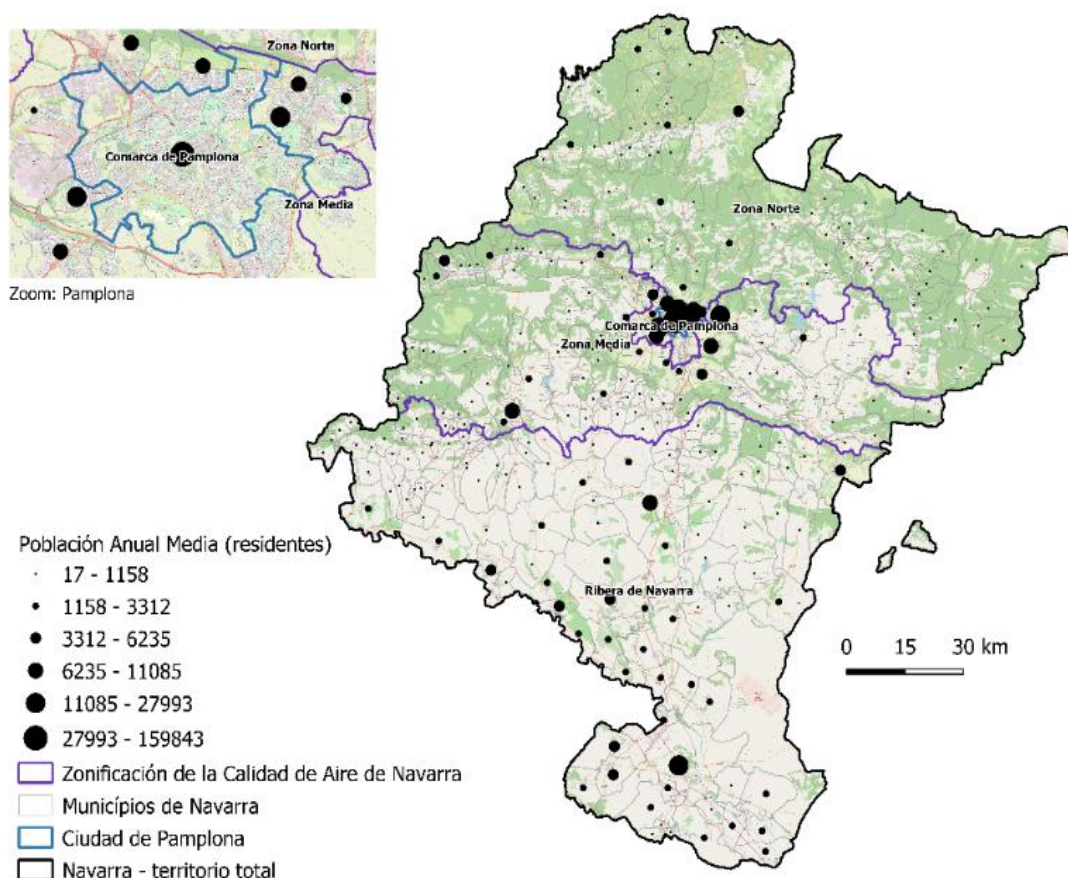


Figura 1 Red de carreteras principales, áreas naturales y distribución poblacional en la provincia, por municipios y zonas de la calidad de aire de Navarra.

2.2 Evaluación del impacto en la salud

Para evaluar los impactos en salud de la contaminación atmosférica y del aumento de la temperatura ambiental sobre la población de la Comunidad Foral de Navarra, fue aplicada una EIS desde una perspectiva cuantitativa y comparativa de riesgos e impactos [Ezzati et al., 2004; Jeffrey et al., 2018; Mueller et al., 2017; World Health Organization, 2015], a partir de un estudio piloto para el año de 2014, periodo en que se avanza y consolida el proceso de registro sistemático y continuo de la calidad atmosférica en la comunidad foral.

En secuencia, el análisis fue realizado para los años posteriores incluidos en el alcance del proyecto [2015-2018], en la búsqueda de evidenciar e ilustrar cuantitativamente los posibles impactos en salud provenientes de este período. Los estudios evaluaron la carga asociada a la

mortalidad adulta [personas residentes mayores de 20 años], por municipios de Navarra, y por zonas básicas de salud [ZBS] para el caso de Pamplona, dado que la ciudad comprende gran parte de la población de la provincia, de acuerdo con la disponibilidad de información disponible. El año de 2019 no fue incluido debido a la ausencia de datos sobre mortalidad en los niveles espaciales estudiados.

El impacto atribuible a las exposiciones estudiadas fue evaluado considerando las etapas siguientes [Ezzati et al., 2004] [Suplemento 1]:

1. Obtención y revisión de datos sobre las exposiciones ambientales y las características demográficas a nivel municipal (n=272) en la Comunidad Foral de Navarra, y a nivel de ZBS (n=13) en Pamplona, a partir del año 2014;
2. Obtención de las funciones de exposición-respuesta para cuantificar la asociación entre los contaminantes atmosféricos y sus impactos en la salud, así como para otras exposiciones, tomando como base la mejor evidencia disponible y aplicable;
3. Cálculo del riesgo relativo asociado a los escenarios ambientales de cada año [*baseline*], en comparación a los escenarios hipotéticos [*counterfactual*], considerando recomendaciones internacionales y escenarios de mínima mortalidad asociada. La diferencia de exposición fue calculada a partir de la diferencia entre el nivel de exposición del *baseline* y el nivel de exposición del *counterfactual*. El riesgo relativo (RR) de la diferencia de exposición se escala teniendo en cuenta la fórmula:

$$RR_{\text{diferencia_exposición}} = e^{\left[\frac{\log(RR_{\text{ERF}})}{E_{\text{ERF}}} \times E_{\text{diferencia_exposición}} \right]}$$

4. Estimación del impacto tomando como base las muertes ocurridas por causa naturales y la fracción de riesgo atribuible a la población (PAF), para cada año de estudio, teniendo en cuenta la fórmula:

$$PAF = \frac{\sum_{i=1}^n P_i (RR_i - 1)}{\sum_{i=1}^n P_i (RR_i - 1) + 1}$$

en la cual *i* es el nivel de diferencia de exposición; *P_i* es la proporción de la población en el nivel de exposición *i*; *RR_i* es el riesgo relativo de la diferencia de exposición; y *n* el número de categorías de exposición.

2.3 Exposiciones ambientales *(baseline)*

Basándose en las más refinadas fuentes de información ambientales georreferenciadas en el presente, fue estimada la exposición media para cada año de estudio, a nivel municipal ($n=272$ municipios) en Navarra y de ZBS ($n=13$) para Pamplona. Las características demográficas para las personas residentes mayores de 20 años y los datos referentes a las muertes naturales ocurridas en el grupo poblacional fueron obtenidas por el registro de mortalidad del Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra [ISPLN] y por el Ayuntamiento de Pamplona, los cuales fueron organizados y compilados en la misma escala de análisis (municipios y ZBS), para cada año estudiado [Ayuntamiento de Pamplona, 2020; Instituto de Estadística de Navarra, 2020; Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra, 2020; Instituto Nacional de Estadística, 2018].

Teniendo en cuenta que apenas algunos de los municipios cuentan con una estación de monitoreo específica, la distribución territorial de la temperatura ambiental (media diaria), en grados Celsius, fue estimada utilizando mapas de satélite europeos con datos de temperaturas ambientales medidas a 2 m sobre la superficie para cada día dentro del periodo 2014-2018, con una resolución aproximada de $10 \times 10 \text{ km}$ [Copernicus, 2019], los cuales ya son construidos a partir de los datos obtenidos por las estaciones oficiales.

En relación a la exposición a la contaminación atmosférica, fueron analizadas las concentraciones atmosféricas de partículas en suspensión [PM] con diámetros aerodinámicos de menos de $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), de dióxidos de nitrógeno (NO_2) y de ozono troposférico (O_3), en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El PM ambiental representa una mezcla heterogénea de sustancias de diversas fuentes, y, así, es un marcador genérico para las fuentes de combustión fósil, incluyendo actividades industriales, agrícolas, y gases de escape de los vehículos de motor.

Las $\text{PM}_{2,5}$ son las más nocivas para la salud, debido a que pueden ser completamente inhaladas hasta las vías áreas más profundas, mientras las PM_{10} son parcialmente inhaladas, generalmente expulsadas por las mucosidades o la tos. Por ello, el presente análisis se basa en la concentración de $\text{PM}_{2,5}$.

El NO_2 es un marcador útil de la contaminación atmosférica basada en el tráfico que resulta de fuentes de combustión, gases de escape de vehículos de motor y vapores de gasolina, generalmente presente en zonas urbanas y principales vías de conexión entre ciudades.

El O_3 no es emitido directamente a la atmósfera, sino que se produce mediante una reacción fotoquímica secundaria, por radiación solar sobre monóxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles, generalmente concentrándose en áreas rurales y en las periferias de las ciudades, donde la concentración de NO_2 es más baja [MITECO, n.d.].

Similar a lo que sucede con la exposición a la temperatura ambiental, no existe una suficiente cobertura espacial por parte de las estaciones fijas de las redes autonómicas y estatales, para

su uso en la asignación de la exposición de la población. Esto se agrava en el caso de la contaminación del aire, ya que existe una alta variabilidad a escala local, no capturada cuando utilizados estos datos para un territorio más amplio. En consecuencia, las concentraciones atmosféricas de PM_{2.5}, NO₂ y O₃, fueron estimadas mediante el modelo estadístico *Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe Land Use Regression* (ELAPSE) [de Hoogh et al., 2018], desarrollado en 2010 y elaborado con miles de mediciones en toda Europa, con una resolución de 100x100m.

Los valores obtenidos por el modelo ELAPSE fueron ajustados temporalmente con los valores medidos en la red de estaciones de monitoreo del Gobierno de Navarra, para obtener una media anual [2014-2018] para cada municipio o ZBS. Debido a que el PM_{2.5} no era un parámetro medido por la red de estaciones, fueron utilizados en el ajuste los valores de PM con diámetros aerodinámicos menores a 10 µm (PM₁₀), asumiendo para ambos la misma tendencia estacional. Para cada estación de la red de monitoreo, el porcentual de cambio entre el valor medio anual y el valor medio anual en el año de referencia del modelo (2010) fue calculada.

A cada municipio o ZBS, le fue asignado su estación de monitoreo más cercana. Este porcentaje o ratio, fue aplicado sistemáticamente a cada exposición territorial en los municipios o ZBS a fin y efecto de obtener una media anual para cada municipio o ZBS, y por cada año dentro del periodo de estudio (2014-2018). Es decir, se utiliza la información obtenida de los valores PM₁₀ de la red de monitoreo para ajustar el cambio en la exposición de PM_{2.5} año a año, asumiendo la misma variabilidad temporal [media anual AÑO x / media anual 2010], que un año con valores altos de PM₁₀ también lo es para PM_{2.5}, y viceversa. Un ejemplo de esta asignación puede ser observado en el Suplemento 2.

En el caso del O₃, los valores horarios medidos en la red de estaciones de monitoreo fueron utilizados para el ajuste temporal. De manera similar a la descrita anteriormente, el porcentaje o ratio de cambio entre 2010 y el periodo de estudio fue calculado. Para este caso específico, la escala temporal tenía como referencia el valor máximo diario de concentración de O₃ referente en un período de 8 horas consecutivas para cada día del período estudiado, por municipio o ZBS.

La asociación entre cada exposición ambiental y mortalidad fue cuantificada utilizando funciones de exposición-respuesta específicas, con base en la mejor evidencia científica disponible hasta el momento [Tabla 2-2].

Tabla 2-2 Riesgos relativos y funciones de exposición-respuesta por exposición ambiental.

Categoría de Exposición	Riesgo Relativo [95%IC]	Exposición Asociada	Diseño de Estudio	Referencia
Temperatura ¹	1.19 [1.16-1.23]	99º versus 74º percentil de temperatura	Estudio de Series Temporales	Guo et al. 2015
PM _{2.5} ²	1.07 [1.04-1.09]	Por 10 µg/m ³ de incremento en la exposición a PM _{2.5}	Meta-análisis	WHO Regional Office for Europe 2014
NO ₂ ²	1.02 [1.01-1.03]	Por 10 µg/m ³ de incremento en la exposición a NO ₂	Meta-análisis	Atkinson et al., 2018
O ₃ ²	1.0043 [1.0034-1.0052]	Por 10 µg/m ³ de incremento en la exposición a O ₃	Meta-análisis	Orellano et al., 2020

Notas: IC=intervalo de confianza; PM_{2.5}=material particulado ≤2,5 µg; NO₂=dióxido de nitrógeno; O₃=ozono.
¹ Efecto de mortalidad de la temperatura modelado con una función de exposición-respuesta (FER) lineal después de determinar el percentil de mínima mortalidad [74ºpercentil] de temperatura media diaria para cada año (Guo et al., 2015).
² Efecto de mortalidad de la contaminación del aire modelado con una FER lineal (Atkinson et al., 2018; Orellano et al., 2020; World Health Organization, 2014).

2.4 Escenarios hipotéticos sobre niveles de exposición [counterfactual]

En relación a PM_{2.5} y NO₂, fue utilizada la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) como *counterfactual*, según la cual las concentraciones medias anuales de PM_{2.5} y NO₂ no deben exceder 10 µg/m³ y 40 µg/m³, respectivamente (World Health Organization, 2006) [Tabla 2-3].

En el caso del O₃, fue definida como *counterfactual* la recomendación de la OMS, según la cual las concentraciones máximas diarias de O₃ no deben exceder los 100 µg/m³ en un período continuo de 8 horas (World Health Organization, 2006) [Tabla 2-3].

Fue calculado el riesgo relativo asociado a los escenarios ambientales de cada año en los territorios que superan los valores recomendados.

Tabla 2-3 Escenarios hipotéticos de exposición a contaminación atmosférica.



Categoría de Exposición	Escenarios Hipotéticos [<i>counterfactual</i>]	Referencia
PM _{2.5}	Concentración media anual $\leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO, 2006
NO ₂	Concentración media anual $\leq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO, 2006
O ₃	Concentración máxima diaria $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 8 horas consecutivas	WHO, 2006

A pesar de no haber recomendaciones oficiales sobre exposición a la temperatura, se indica que el incremento de la vegetación y de espacios permeables, asociados a la reducción del tráfico motorizado, pueden proporcionar un enfriamiento considerable en áreas urbanas y contribuir en la reducción del efecto de islas urbanas de calor (Doick et al., 2014).

Asumiendo el 74º percentil de distribución entre municipios de la temperatura media diaria presentada en un año como la temperatura de mínima de mortalidad (TMM), para el territorio español (Guo et al., 2015), la temperatura media diaria del 74º percentil de cada muestra anual fue considerada como *counterfactual*, buscando estimar la carga de mortalidad atribuible a los percentiles que superan su valor en el año (valores están presentados en el apartado 3. Resultados). Fue calculado el riesgo relativo asociado a los escenarios ambientales de cada día del año en que se supera los valores recomendados.

2.5 Análisis de sensibilidad

Como análisis de sensibilidad, fueron asumidas referencias alternativas para los escenarios:

-  En relación a la exposición a la temperatura, hemos estimado el impacto sobre la posible reducción en la temperatura media diaria en 4°C en todo el territorio (Mueller et al., 2017);
-  En relación a PM_{2.5} y NO₂, fueron consideradas recomendaciones más robustas y restrictivas disponibles hasta el momento, teniendo en cuenta evidencias recientes registrando impactos en la salud para niveles inferiores a las recomendaciones internacionales para las exposiciones a PM_{2.5} y NO₂.

Fue definido como *counterfactual* el alcance al más bajo nivel de concentración registrada en zonas urbanas europeas: de 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5} y de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO₂ (Khreis et al., 2017; Morgenstern et al., 2008).

2.6 Análisis de impacto económico

También fue realizado un análisis de impacto económico atribuible al cambio en el riesgo de mortalidad prematura basado en el valor estadístico de vida [VEV].

El VEV es el valor manifestado por una población en su disposición a pagar al beneficio de la implantación de una intervención orientada a la reducción de su riesgo de muerte [World Health Organization, 2017].

El VEV para España es valorado en 2,51 millones de euros, en base al valor del euro de 2015 [World Health Organization, 2017], y representa la disposición a pagar de la población española a intervenciones que reduzcan el riesgo de 1 [una] muerte.

El VEV para España fue multiplicado con el número de muertes atribuibles por exposición. Así, se obtuvo el VEV específico de cada exposición del estudio, representando el total que podría ser invertido en políticas de reducción de las exposiciones ambientales y de su impacto sobre la mortalidad.

3. RESULTADOS

3.1 Exposiciones ambientales por año

Los municipios navarros presentan poca variación a la exposición a temperatura media diaria entre 2014 y 2018 (Tabla 3-1). Las temperaturas de mínima mortalidad (TMM), definidas por los valores del 74º percentil, han sufrido un liviano aumento entre los años (Tabla 3-1). En 2014, durante 169 días la temperatura media diaria (24h) ha superado la TMM en al menos 1 municipio de la provincia. Lo mismo ocurrió en 163 días en el 2015, en 139 días en el 2016, en 138 días en el 2017 y en 133 días en el 2018. Además, cabe remarcar que una temperatura media diaria (24h) de 27°C significa que durante la mayor parte del día las temperaturas se han movido entorno a los 25-30°C, o incluso más.

En general, los municipios de la zona de la Ribera de Navarra presentan valores más elevados de temperatura media diaria en relación a la zona de Montaña, y la zona Media se presenta como un área de transición entre ellas. En la ciudad de Pamplona, las ZBS presentan poca variación entre sus territorios, formando parte la Cuenca de Pamplona del mismo modelo térmico que la zona Media. Como ejemplo, la Figura 2 presenta los valores medios diarios por municipio en el día 22 de agosto de cada año.

Tabla 3-1 Temperatura media diaria [24 horas] en Navarra.

Año de estudio	Temperatura Media Diaria - 24h [°C]					
	mínima	media	mediana	74º percentil [TMM]	75º percentil	máxima
2014	0,60	13,41	13,35	17,79	17,87	27,00
2015	-1,71	13,18	13,24	17,20	17,54	27,96
2016	0,79	12,87	11,99	18,05	18,22	27,57
2017	-2,63	13,28	13,37	18,57	18,77	26,79
2018	-1,07	13,10	12,77	19,09	19,51	26,31

Nota: °C = grados Celsius; TMM: temperatura de mínima mortalidad.

En relación a la exposición a PM_{2.5}, las concentraciones medias anuales presentan ciclos de subidas y bajadas entre los municipios a lo largo de los años. En general, el territorio presenta bajos niveles de concentraciones medias anuales de PM_{2.5}, y el 2016 presenta concentraciones inferiores a los demás años. Apenas 38 municipios presentaron concentraciones medias anuales por encima de la recomendación de la OMS de 10 µg/m³ el año 2014, 44 municipios el 2015, ninguno el 2016, 83 municipios el 2017, y 31 municipios el 2018. Sin embargo, todos los

municipios y ZBS presentaron concentraciones medias anuales por encima del valor mínimo de $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en todo el período (2014-2018) [Tabla 3-2].

En general, las concentraciones medias anuales de $\text{PM}_{2.5}$ fueron más elevadas en el territorio de la Ribera de Navarra, en el área de la Cuenca de Pamplona y en la zona noroeste, cerca de la frontera con el País Vasco [Figura 2].

En 2018, los 31 municipios que aún presentaban valores de concentraciones medias anuales por encima de la recomendaciones de la OMS fueron: Betelu en la Zona Norte, Burlada, Villava y Pamplona en la Cuenca de Pamplona; Abaigar, Ancín, Estella-Lizarra, Igúzquiza [norte], Legaria, Metauten, Murieta, Oco en la Zona Media; y Aberin, Aras, Arellano, Armañanzas, Barbarin, Bargota, Desajo, El Busto, Espronceda, Igúzquiza [sur], Los Arcos, Luquin, Morentin, Mues, Olejua, Piedramillera, Sansol, Sorlada, Torres del Río, Viana en la Ribera de Navarra. Asimismo, la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ se redujo en la mayoría de las ZBS de Pamplona en comparación a 2014, con excepción de Rochapea y San Jorge [Figura 2].

Tabla 3-2 Concentración media anual de $\text{PM}_{2.5}$ en Navarra.

Año de estudio	Concentración Media Anual de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Mínima	25 ^o percentil	media	mediana	75 ^o percentil	máxima
2014	3,87	7,44	8,30	8,41	9,37	11,17
2015	5,00	7,80	8,75	8,69	9,43	14,45
2016	3,22	5,47	6,16	6,06	6,68	9,06
2017	3,65	6,28	8,26	8,17	10,19	13,24
2018	3,65	6,27	7,64	7,32	9,29	11,85

Nota: $\text{PM}_{2.5}$ =material particulado $\leq 2.5 \mu\text{g}$.

En cuanto a la exposición a NO_2 , en general, el territorio presenta bajos niveles de concentraciones medias anuales y el año 2015 presenta concentraciones superiores a los demás [Tabla 3-3].

En ninguno de los años el territorio excede los valores recomendados por la OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, considerando como referencia el valor mínimo de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 135 municipios presentaron concentraciones medias anuales por encima del límite el 2014, 137 municipios el 2015, 144 municipios el 2016, 150 municipios el 2017, y 135 municipios el 2018.

En general, las concentraciones medias anuales de NO_2 fueron más elevadas en el territorio de la Ribera de Navarra, y en las zonas noroeste y oeste, entre las fronteras con el País Vasco y La

Rioja, además de la ciudad de Pamplona, con las concentraciones más elevadas en las ZBS centrales del Casco Viejo y San Juan y las más bajas en ZBS periféricas de Buztintxuri, Chantrea y Zizur-Echavacoiz [Figura 2].

Tabla 3-3 Concentración media anual de NO₂ en Navarra.

Concentración Media Anual de NO ₂ [µg/m ³]						
Año de estudio	Mínima	25º percentil	media	mediana	75º percentil	máxima
2014	1,27	5,36	8,38	7,98	10,43	21,28
2015	1,03	4,36	9,97	8,18	15,12	27,79
2016	1,21	5,13	9,56	8,72	13,91	23,41
2017	1,21	5,19	9,63	8,89	13,91	23,41
2018	1,03	4,52	8,15	7,96	11,63	19,43

Nota: NO₂=dióxido de nitrógeno.

Referente a la exposición a O₃, la concentración máxima diaria en 8 horas continuas fue superior en los años 2015-2017, con valores más bajos en 2014 y 2018 [Tabla 3-4]. En 2014, durante 68 días la concentración máxima recomendada por la OMS de 100 µg/m³ (8h continuas) fue superada en al menos 1 municipio navarro. Lo mismo ocurrió en 86 días en el 2015, en 69 días en el 2016, en 49 días en el 2017, y en 13 días en el 2018.

En general, las concentraciones máximas diarias (8h) de O₃ bajaron en Navarra a lo largo de los años. Entre los municipios, las concentraciones más elevadas ocurrieron en aquellos situados en las zonas de Montaña y Media, incluyendo la Cuenca de Pamplona, durante los primeros años y variando entre los demás años. La zona de la Ribera de Navarra presenta valores medianos, con elevación en las concentraciones en los últimos años. Las ZBS de Pamplona presentaron valores más bajos a lo largo de los años, sin embargo, con alguna siempre superando la recomendación de la OMS.

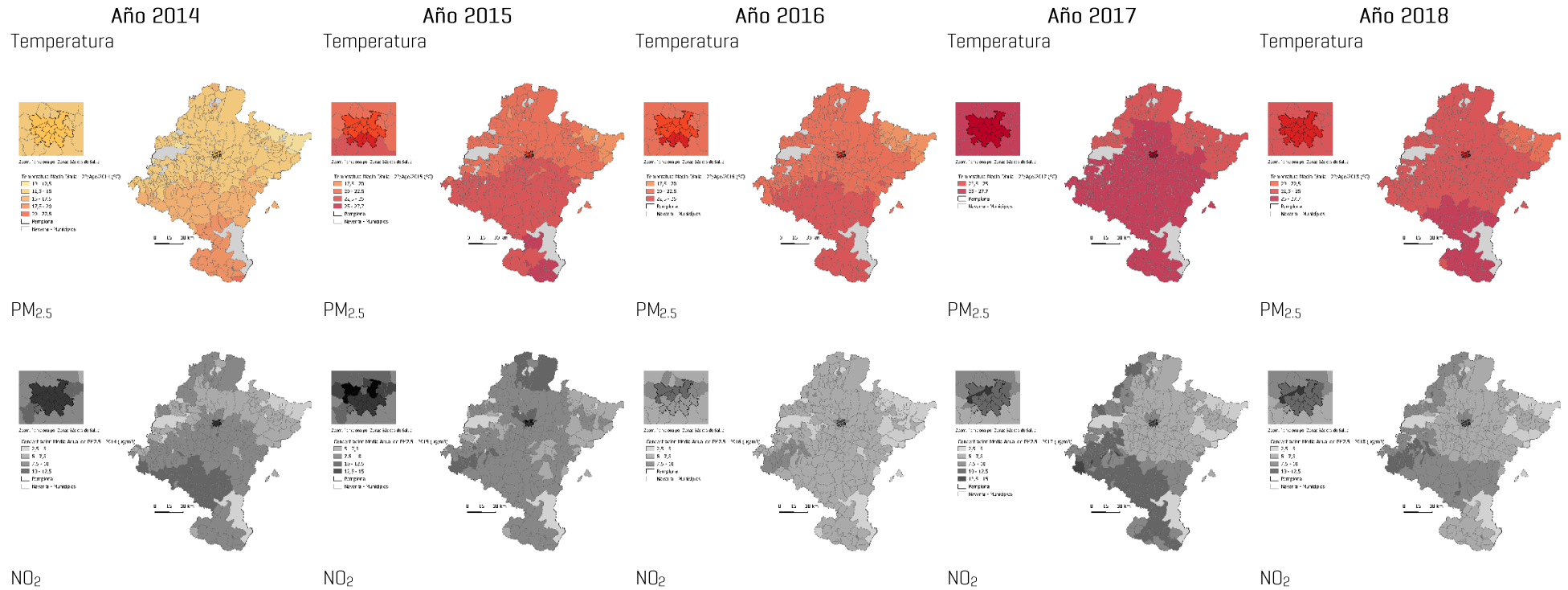
Como ejemplo, la Figura 2 presenta las concentraciones máximas diarias (8h) por municipio en el día 18 de abril de cada año.

Tabla 3-4 Concentraciones máximas diarias (8 horas) de O₃ en Navarra.

Año de estudio	Concentraciones Máximas Diarias (8h) de O ₃ (µg/m ³)					
	Mínima	25º percentil	media	mediana	75º percentil	máxima
2014	4,25	66,63	80,78	80,50	96,49	158,91
2015	3,00	66,95	81,14	84,51	100,44	174,05
2016	2,27	60,95	76,15	77,10	95,10	164,02
2017	2,64	62,37	76,53	75,96	91,85	166,87
2018	2,87	40,66	63,91	63,03	83,36	149,45

Nota: O₃=ozono.

La distribución territorial de todas las exposiciones por municipios y ZBS a lo largo de los años se presenta en la Figura 2 (y con mayor resolución en el Suplemento 3).



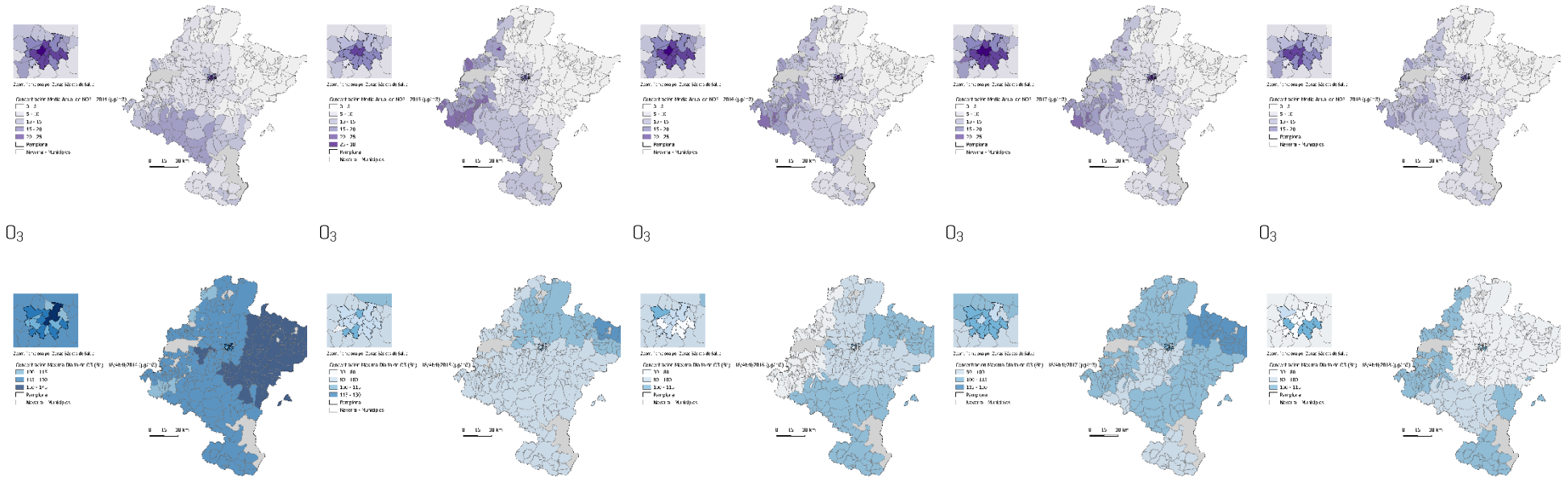


Figura 2 Exposiciones ambientales por municipio y año [mayor resolución en Suplemento 3].

3.2 Impacto sobre la mortalidad

Considerando todas exposiciones, 761 [95%CI: 636; 901] muertes prematuras fueron atribuibles a niveles de temperatura, PM_{2.5} y O₃ que superan los valores considerados en el escenario *counterfactual* en el período entre 2014 y 2018. El impacto anual atribuible a dichas exposiciones para cada año en Navarra fue de 161 [95%CI: 133; 191] muertes prematuras en el 2014, 171 [95%CI: 137; 204] en el 2015, 145 [95%CI: 124; 170] en el 2016, 144 [95%CI: 120; 169] en el 2017, y 141 [95%CI: 122; 167] en el 2018. Estos valores totales no incluyen el impacto atribuible a la exposición a NO₂, una vez que ninguno de los municipios ha presentado exposición a NO₂ por encima de 40 µg/m³ en el período estudiado. Los valores de carga total sobre la mortalidad para cada exposición y año estudiado se presentan en la Tabla 3-5.

La mayor contribución para la carga de mortalidad en la comunidad foral fue debida a la exposición a temperaturas por encima de la TMM (682 muertes atribuibles, 95%CI: 586; 801), seguida de la exposición a PM_{2.5} superior a 10 µg/m³ (60 muertes atribuibles, 95%CI: 35; 77), y, por último, a la exposición a O₃ superiores a 100 µg/m³ por 8h continuas (19 muertes atribuibles, 95%CI: 15; 23). La distribución de la carga de mortalidad por municipio y ZBS se presenta en el Suplemento 4.

En general, cumplir con los valores referentes al *counterfactual* representaría una prevención de 8,6% [95%CI: 7,2%; 10,2%] sobre el total de muertes del período (2014 a 2018). Considerando la variación de las exposiciones presentadas entre los municipios y ZBS, como se expone en el apartado anterior, fue observada una gran variabilidad del porcentual de impacto sobre el total de muertes entre los municipios para cada exposición estudiada (Figura 3). El impacto en los municipios fue de 0,4 a 4,4% para la exposición a temperaturas elevadas, con un comportamiento bastante semejante a lo largo de los años; de 0 a 1,2% para la exposición a PM_{2.5}, aumentando la variación del impacto entre los municipios a lo largo de los años; y de 0 a 0,3% para la exposición a O₃, con reducción del impacto entre los años en todos los municipios (Figura 3).

Considerando todas las exposiciones, el impacto anual medio sobre el total de muertes varió del 0% en Marañón al 4,6% en Buñuel y Cortes (Suplemento 4). En la zona de la Ribera de Navarra, los municipios presentan un impacto entre 2,1% y 4,6%, mientras que en la zona Montaña los municipios presentan un impacto entre 0% y 1,6%. La zona Media y la Cuenca de Pamplona presentan una gran variación entre los municipios (Figura 4).

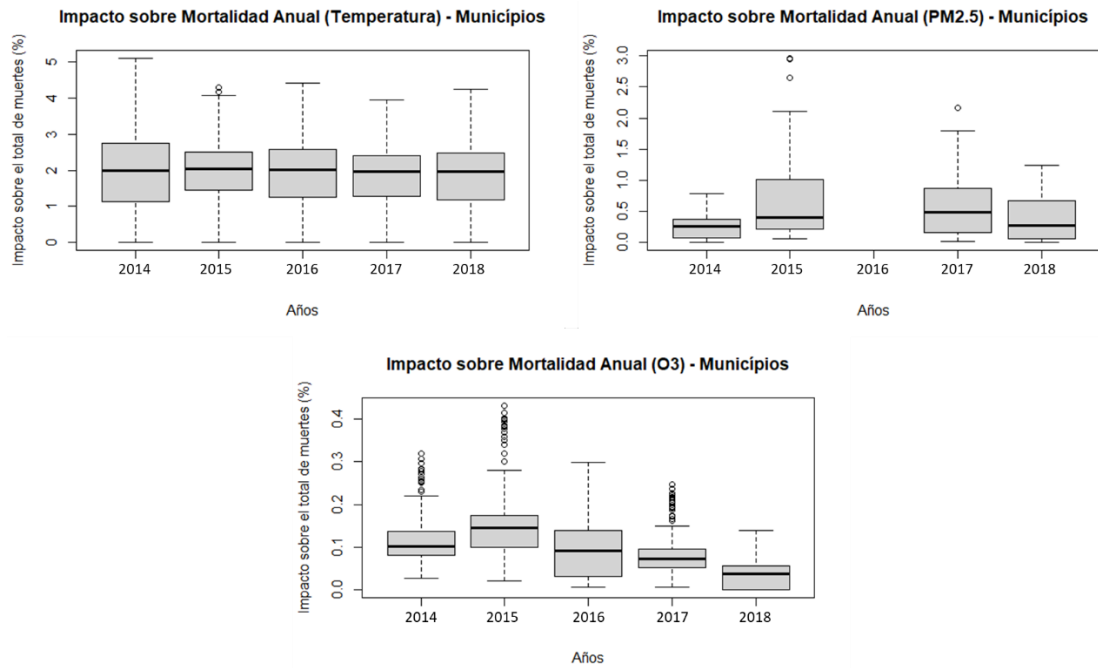


Figura 3 Diagramas de cajas del impacto sobre la mortalidad anual al nivel de municipio, por exposición ambiental y por año.

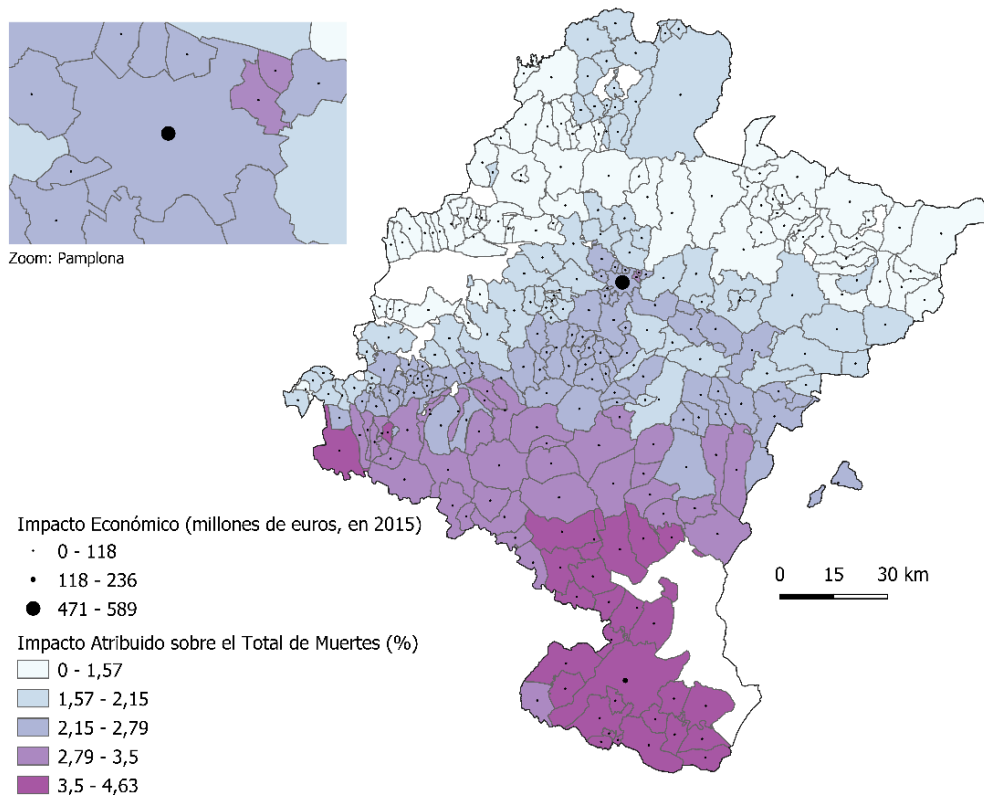


Figura 4 Impacto sobre la mortalidad y economía por municipio entre 2014 y 2018.

Tabla 3-5 Carga total de mortalidad atribuible en Navarra, por exposición ambiental y año.

	Exposición	Muertes Atribuibles [95%CI]	Impacto sobre la Mortalidad [%] [95%CI]	Tasa de Mortalidad Atribuible [muertes / 100.000 habitantes] [95% CI]	Impacto Económico [millones de €, en 2015] [95%CI]
2014	Temperatura	139 [119; 163]	2,64 [2,27; 3,11]	27,20 [23,32; 31,99]	348,09 [298,41; 409,49]
	NO ₂	0	0	0	0
	PM _{2,5}	18 [10; 22]	0,34 [0,19; 0,43]	3,45 [2,00; 4,39]	40,14 [25,62; 56,16]
	O ₃	4 [3; 5]	0,08 [0,07; 0,10]	0,85 [0,67; 1,03]	10,90 [8,63; 13,15]
	Total	161 [133; 191]	3,06 [2,53; 3,63]	31,50 [25,99; 37,41]	403,13 [332,67; 478,80]
2015	Temperatura	134 [114; 156]	2,47 [2,12; 2,90]	26,24 [22,45; 30,72]	335,21 [286,86; 392,44]
	NO ₂	0	0	0	0
	PM _{2,5}	32 [18; 41]	0,59 [0,34; 0,76]	6,29 [3,62; 8,06]	80,40 [46,25; 102,92]
	O ₃	5 [4; 7]	0,10 [0,08; 0,12]	1,07 [0,84; 1,29]	13,63 [10,79; 16,46]
	Total	171 [137; 204]	3,17 [2,54; 3,78]	33,60 [26,92; 40,06]	429,23 [343,91; 511,82]
2016	Temperatura	140 [121; 165]	2,56 [2,21; 3,01]	27,59 [23,77; 32,42]	352,20 [303,46; 413,90]
	NO ₂	0	0	0	0
	PM _{2,5}	0	0	0	0
	O ₃	4 [3; 5]	0,08 [0,06; 0,09]	0,84 [0,66; 1,01]	10,71 [8,48; 12,93]
	Total	145 [124; 170]	2,64 [2,27; 3,10]	28,43 [24,44; 33,44]	362,91 [311,94; 426,83]
2017	Temperatura	132 [113; 154]	2,36 [2,02; 2,76]	25,80 [22,07; 30,21]	330,44 [282,73; 386,89]
	NO ₂	0	0	0	0
	PM _{2,5}	9 [5; 12]	0,16 [0,09; 0,21]	1,78 [1,03; 2,26]	22,77 [13,22; 28,97]
	O ₃	3 [2; 4]	0,06 [0,04; 0,07]	0,61 [0,48; 0,73]	7,76 [6,13; 9,36]
	Total	144 [120; 169]	2,58 [2,16; 3,04]	28,18 [23,58; 33,20]	360,97 [302,08; 425,21]



2018	Temperatura	137 [119; 162]	2,48 [2,15; 2,93]	26,77 [23,25; 31,62]	345,06 [299,71; 407,57]
	NO ₂	0	0	0	0
	PM _{2.5}	1 [1; 2]	0,03 [0,01; 0,03]	0,28 [0,16; 0,35]	3,59 [2,08; 4,57]
	O ₃	2 [2; 3]	0,04 [0,03; 0,05]	0,41 [0,33; 0,50]	5,31 [4,19; 6,40]
	Total	141 [122; 167]	2,54 [2,20; 3,01]	27,46 [23,74; 32,47]	353,95 [305,99; 418,54]



3.3 Análisis de sensibilidad

En relación a la posible reducción de la temperatura en 4°C en todo el territorio, los días en que la TMM es superada por al menos 1 municipio de la provincia en cada año bajarían a 88 días en 2014, 93 días en 2015, 88 días en 2016, 83 días en 2017 y 80 días en 2018.

En comparación a los valores de temperatura media diaria del territorio en el período de estudio, la reducción de la temperatura en 4°C representaría una reducción de 517 [95%CI: 444; 606] muertes, resultando en un impacto de 165 [95%CI: 142; 195] muertes atribuibles a temperaturas superiores a la TMM.

Considerando medidas más restrictivas para PM_{2.5} y NO₂, estimamos que 1364 muertes [95%CI: 788; 1700] podrían ser atribuibles a concentraciones de PM_{2.5} por encima de 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 360 [95%CI: 181; 534] por concentraciones de NO₂ por encima de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.






3.4 Análisis de impacto económico




En relación a los impactos económicos, con base en el VEV, ha sido estimado un impacto de 1910 [95%CI: 1597; 2261] millones de €, con base en el valor del euro de 2015, representando un impacto anual medio de 382 [95%CI: 319; 452] millones de € (Figura 4).

Este valor representa la estimación de la disposición a pagar de la población local para la implantación de intervenciones y políticas de reducción de la contaminación atmosférica y del control de la temperatura frente al cambio climático, orientadas a la reducción de su mortalidad atribuible.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones son las siguientes:

-  Considerando todas las exposiciones (excepto NO₂), 761 [95%CI: 636; 901] muertes prematuras fueron atribuibles a niveles de temperatura, PM_{2.5} y O₃ que superaron los valores considerados en el escenario *counterfactual* en el período entre 2014 y 2018. Debido a cierta reducción de la intensidad de las exposiciones ambientales, el impacto general va disminuyendo durante los años a lo largo del período estudiado (2014-2018);
-  En relación a la exposición ambiental a la temperatura por encima de la TMM, acciones que promuevan la reducción de la temperatura en 4°C en todo el territorio podrían haber evitado el impacto de la temperatura sobre la mortalidad en Navarra en hasta 517 [95%CI: 444; 606] muertes prematuras en los últimos 5 años;
-  El territorio de Navarra ha presentado bajas concentraciones de NO₂ y ningún municipio ha presentado concentraciones medias anuales de NO₂ superiores a la recomendación de la OMS. Sin embargo, teniendo en cuenta que estudios recientes están demostrando los riesgos existentes por debajo de las recomendaciones de 40 µg/m³ [M Stafoggia et al., 2019] y adoptando el valor más restrictivo de 8 µg/m³ como escenario a ser alcanzado, el impacto referente a la exposición ambiental a NO₂ en Navarra sube de cero a 360 [95%CI: 181; 534] muertes atribuibles, es decir, que podrían ser evitadas en los últimos 5 años con medidas más restrictivas para el control de la contaminación por NO₂;
-  La comunidad foral también presenta bajas concentraciones de PM_{2.5}, sin embargo, con las medias anuales de algunos municipios superando los valores recomendados por la OMS de 10 µg/m³, totalizando 60 [95%CI: 35; 77] muertes atribuibles a esta superación. En el caso del escenario más restrictivo, considerando el alcance de una concentración de 1,3 µg/m³ de PM_{2.5} por todos los municipios, el impacto de la exposición a PM_{2.5} aumentaría para 1364 [95%CI: 788; 1700] muertes atribuibles a su superación, es decir, que podrían ser evitadas en los últimos 5 años con medidas más restrictivas para el control de la contaminación por PM_{2.5};
-  La exposición a O₃ superior a 100 µg/m³ por 8 horas continuas se ha reducido en número de días a lo largo de los años en el período de estudio, pasando de 68 a 13 días. Las concentraciones más elevadas se encuentran en zonas ajenas a áreas de alta densidad poblacional y su impacto es el más bajo entre las exposiciones ambientales estudiadas, totalizando 19 [95%CI: 15; 23] muertes atribuibles en todo el período;

-  Gran parte del impacto estimado (porcentaje del total de muertes por causas naturales que podría ser prevenible anualmente) en el territorio se concentra en la zona de la Ribera de Navarra, donde se localiza una gran concentración de suelos industriales (Gobierno de Navarra, 2020). El máximo número de muertes atribuibles se concentran en las zonas más urbanas de la comunidad foral, principalmente en la Cuenca de Pamplona, donde se encuentra cerca de la mitad de la población de la Navarra;
-  El control de emisiones, desechos y consumo energético por parte de las actividades industriales pueden contribuir a la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, la dispersión de estos contaminantes hacia otras zonas de la comunidad foral y a sus efectos sobre el cambio climático, en consecuencia, a disminuir su impacto sobre la población de Navarra. A pesar de que el número de muertes naturales en la Ribera de Navarra es bajo, su población sufre mayor impacto (porcentaje del total de muertes por causas naturales que podría ser prevenible anualmente) proveniente de las exposiciones ambientales que en otras zonas;
-  Finalmente, el control del tráfico urbano, la promoción del transporte activo (de viajes en bicicletas y a pie) y el aumento de la cobertura vegetal y espacios verdes en las ciudades y entre ciudades, pueden contribuir en la reducción de la contaminación atmosférica y de las temperaturas extremas en el verano, disminuyendo su impacto sobre la población de Navarra.

5. REFERENCIAS

Atkinson, R. W., Butland, B. K., Anderson, H. R., & Maynard, R. L. [2018]. Long-term concentrations of nitrogen dioxide and mortality: A Meta-analysis of Cohort Studies. *Epidemiology*, 29 [4], 460–472. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000847>

Ayuntamiento de Pamplona. [2020]. *Población en el Municipio de Pamplona, según zonas básicas de salud y año*.

Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Forsberg, B., Modig, L., Havulinna, A. S., Lanki, T., ... Hoek, G. [2014]. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*, 383[9919], 785–795. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62158-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3)

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., ... Spadaro, J. V. [2018]. Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115[38], 9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>

Cesaroni, G., Forastiere, F., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Badaloni, C., Beelen, R., Caracciolo, B., Faire, U. De, Erbel, R., Eriksen, K. T., Fratiglioni, L., Galassi, C., Hampel, R., Heier, M., Hennig, F., Hilding, A., Hoffmann, B., Houthuijs, D., Korek, M., ... Peters, A. [2014]. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ*, 348[f412], 1–16. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7412>

Copernicus. [2019]. *E-OBS daily gridded meteorological data for Europe from 1950 to present derived from in-situ observations*. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.151d3ec6?tab=overview>

de Hoogh, K., Chen, J., Gulliver, J., Hoffmann, B., Hertel, O., Ketznel, M., Bauwelinck, M., van Donkelaar, A., Hvidtfeldt, U. A., Katsouyanni, K., Klompmaker, J., Martin, R. V., Samoli, E., Schwartz, P. E., Stafoggia, M., Bellander, T., Strak, M., Wolf, K., Vienneau, D., ... Hoek, G. [2018]. Spatial PM_{2.5}, NO₂, O₃ and BC models for Western Europe – Evaluation of spatiotemporal stability. *Environment International*, 120, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.036>

Doick, K. J., Peace, A., & Hutchings, T. R. [2014]. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of The Total Environment*, 493, 662–671. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2014.06.048>

Eze, I. C., Hemkens, L. G., Bucher, H. C., Hoffmann, B., Schindler, C., Kunzli, N., Schikowski, T., & Probst-Hensch, N. M. [2015]. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(5), 381–389. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307823>

Ezzati, M., Lopez, A. D., Rodgers, A., & Murray, C. J. L. [2004]. Comparative Quantification of Health Risks Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors. *WHO*, 1200.

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Schwartz, A. Z., Tobias, A., Rocklöv, S. T., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C., Kan, H., Yi, S.-M., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Honda, Y., & Armstrong, H. K. [2015]. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386, 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

Gobierno de Navarra. [n.d.]. *Geografía y población. El territorio y sus gentes*. Retrieved August 31, 2020, from http://www.navarra.es/home_es/Navarra/Asi+es+Navarra/Geografia+y+poblacion/El+territorio+y+sus+gentes.htm

Gobierno de Navarra. [2020]. *Plan Industrial de Navarra 2020*. <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/7E1792C2-1BE6-4B9D-993A-CE70FDC011AD/375919/270317de80plan.pdf>

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B. G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., Coelho, M. de S. Z. S., Pan, X., Kim, H., Hashizume, M., Honda, Y., Guo, Y. L., Wu, C.-F., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Bell, M. L., Overcenco, A., Punnasiri, K., Li, S., ... Tong, S. [2016]. Temperature Variability and Mortality: A Multi-Country Study. *Environmental Health Perspectives*, 124(10), 1554–1559. <https://doi.org/10.1289/EHP149>

Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B., Li, S., Tobias, A., Lavigne, E., Sousa, M. De, & Staglitorio, Z. [2015]. *Europe PMC Funders Group Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation*. 25(6), 781–789. <https://doi.org/10.1097/EDE.000000000000165>.Global

Hamra, G., Laden, F., Cohen, A., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D. [2015]. Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1107–1112.

Héroux, M.-E., Anderson, H. R., Atkinson, R., Brunekreef, B., Cohen, A., Forastiere, F., Hurley, F., Katsouyanni, K., Krewski, D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Mills, I., Querol, X., Ostro, B., & Walton, H. [2015]. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *International Journal of Public Health*, 60(5), 619–627. <https://doi.org/10.1007/s00038-015-0690-y>

Instituto de Estadística de Navarra. [2020]. *Zonificación sanitaria por zonas básicas, áreas, sectores de salud mental, centros de atención a la mujer y población, según municipios y año*.

Instituto de Salud Pública y Laboral de Navarra. [2020]. *Registro de Mortalidad, según municipios y año*.

Instituto Nacional de Estadística. [2018]. *Población por sexo, municipios y edad [grupos quinquenales]*.

<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t20/e245/p05/a2016/l0/&file=00031001.px&L=0>

Jeffrey, D., Afshin, A., Gakidou, E., Lim, S. S., Abate, D., Abate, K. H., Abbafati, C., Abbasi, N., Abbastabar, H., Abd-Allah, F., Abdela, J., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Abdulkader, R. S., Abebe, M., Abebe, Z., Abera, S. F., Abil, O. Z., Abraha, H. N., ... Murray, C. J. L. [2018]. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Stu. *Lancet [London, England]*, 392(10159), 1923-1994. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32225-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32225-6)

Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K., & Nieuwenhuijsen, M. [2017]. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 100, 1-31.

LIFE-IP NAdapta-CC. [2017]. *LIFE NAdapta | Definición del proyecto*. <https://lifenadapta.navarra.es/es/proyecto>

Ma, W., Chen, R., & Kan, H. [2014]. Temperature-related mortality in 17 large Chinese cities: How heat and cold affect mortality in China. *Environmental Research*, 134, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.07.007>

MITECO. [n.d.]. *Calidad del aire*. Retrieved September 22, 2020, from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/>

Morgenstern, V., Zutavern, A., Cyrus, J., Brockow, I., Koletzko, S., Krämer, U., Behrendt, H., Herbarth, O., von Berg, A., Bauer, C. P., Wichmann, H.-E., & Heinrich, J. [2008]. Atopic Diseases, Allergic Sensitization, and Exposure to Traffic-related Air Pollution in Children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177(12), 1331-1337. <https://doi.org/10.1164/rccm.200701-0360C>

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Basagaña, X., Cirach, M., Cole-Hunter, T., Dadvand, P., Donaire-Gonzalez, D., Foraster, M., Gascon, M., Martinez, D., Tonne, C., Triguero-Mas, M., Valentín, A., & Nieuwenhuijsen, M. [2017]. Urban and Transport Planning Related Exposures and Mortality: A Health Impact Assessment for Cities. *Environmental Health Perspectives*, 125(1), 89-96. <https://doi.org/10.1289/EHP220>

Nafstad, P., Haheim, L., Oftedal, B., Gram, F., Holme, I., Hjerermann, I., & Leren, P. [2003]. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow up of 16209 Norwegian men. *Thorax*(58), 1071-1076.

Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., & Ciapponi, A. [2020]. Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. In *Environment International* (Vol. 142). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>

Pedersen, M., Giorgis-allemand, L., Bernard, C., Aguilera, I., Andersen, A. N., Ballester, F., & Beelen, R. M. J. [2013]. Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study [ESCAPE]. *The Lancet Respiratory Medicine*, 1(13), 695–704.

Sapkota, A., Chelikowsky, A. P., Nachman, K. E., Cohen, A. J., & Ritz, B. [2010]. Exposure to particulate matter and adverse birth outcomes: a comprehensive review and meta-analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(4), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0106-3>

Stafoggia, M., Bauwelinck, M., Vienneau, D., Oftedal, B., Andersen, Z., Gulliver, J., Atkinson, R., Brunekreef, B., Samoli, E., & Janssen, N. [2019]. Low-level air pollution and natural cause mortality in Europe: meta-analysis of 5 European large administrative cohorts in the ELAPSE project. *Environmental Epidemiology*, 3, 380–381. <https://doi.org/10.1097/01.ee9.0000610232.01199.37>

Stafoggia, Massimo, Cesaroni, G., Peters, A., Andersen, Z. J., Badaloni, C., Beelen, R., & Caracciolo, B. [2014]. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Incidence of Cerebrovascular Events: Results from 11 European Cohorts within the ESCAPE Project. *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 919–925.

Sun, R., Lü, Y., Yang, X., & Chen, L. [2019]. Understanding the variability of urban heat islands from local background climate and urbanization. *Journal of Cleaner Production*, 208, 743–752. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.178>

Turner, L. R., Barnett, A. G., Connell, D., & Tong, S. [2012]. Ambient Temperature and Cardiorespiratory Morbidity. *Epidemiology*, 23(4), 594–606. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3182572795>

WHO Regional Office for Europe. [1999]. *Health Impact Assessment: main concepts and suggested approach*. http://www.impactsante.ch/pdf/HIA_Gothenburg_consensus_paper_1999

WHO Regional Office for Europe. [2013]. *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project, Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. <http://www.euro.who.int/pubrequest>

World Health Organization. [2006]. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1

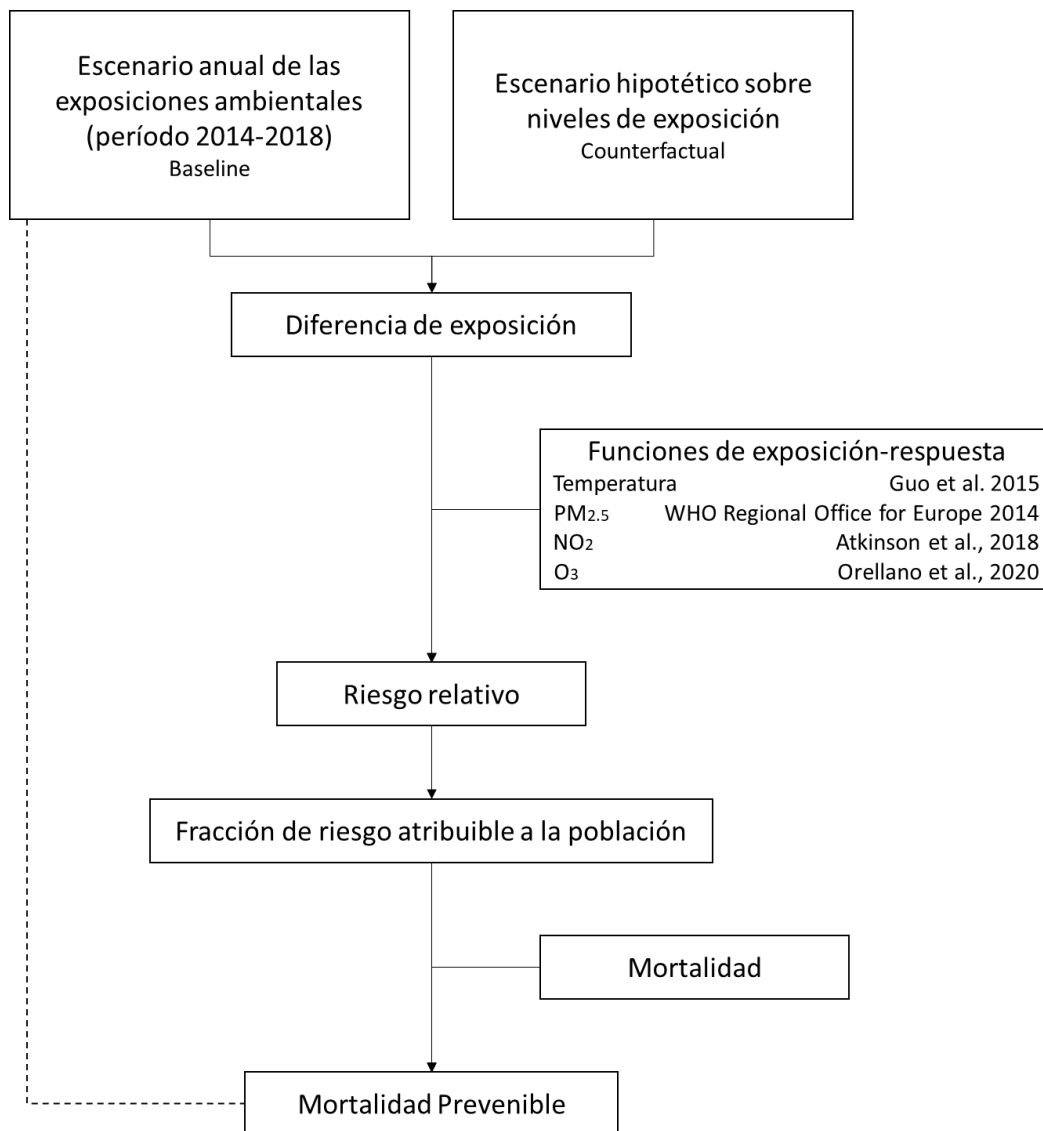
World Health Organization. [2014]. *Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report. May*, 1–112. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level.pdf

World Health Organization. [2015]. *The Health and Environment Linkages Initiative (HELI) – Quantitative assessment of environmental health impacts at population level*.

World Health Organization. (2017). *Health Economic Assessment Tool (HEAT) for Walking and for Cycling. Methods and User Guide on Physical Activity, Air Pollution, Injuries and Carbon Impact Assessments* [S. Kahlmeier, T. Götschi, N. Cavill, A. C. Fernandez, C. Brand, D. Rojas-Rueda, J. Woodcock, P. Kelly, C. Lieb, P. Oja, C. Foster, H. Rutter, & F. Racioppi (eds.); 2017th ed.]. World Health Organization. <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-economic-assessment-tool-heat-for-walking-and-for-cycling.-methods-and-user-guide-on-physical-activity,-air-pollution,-injuries-and-carbon-impact-assessments-2017>

6. SUPLEMENTOS

6.1 Suplemento 1. Marco de la evaluación del impacto en la salud.



Marco conceptual del estudio, adaptado de Mueller et al, 2017

6.2 Suplemento 2. Ejemplo de asignación de valor para PM_{2.5}

Se toma como ejemplo el municipio de Fustiñana, en la zona de la Ribera de Navarra.

El valor medio de PM_{2.5} para todo el municipio obtenido mediante el modelo ELAPSE (media anual 2010) es de 12,2 µg/m³. Como se desea obtener las medias anuales de los años 2014-2018, se hace necesario aplicar un ajuste temporal a dicho valor.

Durante el periodo, el PM_{2.5} no se muestra como un parámetro medido en las estaciones de referencia, en consecuencia, se deben utilizar otros datos existentes. Debido a su similitud en cuanto a comportamiento interanual con el PM₁₀, es decir, un año con valores altos de PM_{2.5} también lo es para el PM₁₀, se decide usar los valores anuales de PM₁₀ de las estaciones de referencia para el ajuste temporal de la exposición a PM_{2.5}.

De esta manera, se toma la estación de referencia más cercana a Fustiñana, en este caso la estación situada en Tudela, y se calcula la ratio entre el valor medio anual del año que queremos estimar y el valor medio anual del modelo ELAPSE [2010]. Por ejemplo, para el año 2014:

$$\text{Ratio Tudela PM}_{10\ 2014} = \text{valor medio en Tudela}_{2014} / \text{valor medio en Tudela}_{2010}$$

En el caso de Tudela, el valor medio de PM₁₀ para 2010 fue de 22 µg/m³ y en 2014 fue de 15 µg/m³, resultando en una ratio de 0,68. Este valor se puede traducir, en términos generales, como que la concentración media de PM₁₀ en 2014 fue un 32% inferior a la medida en 2010, en la zona de la estación de Tudela.

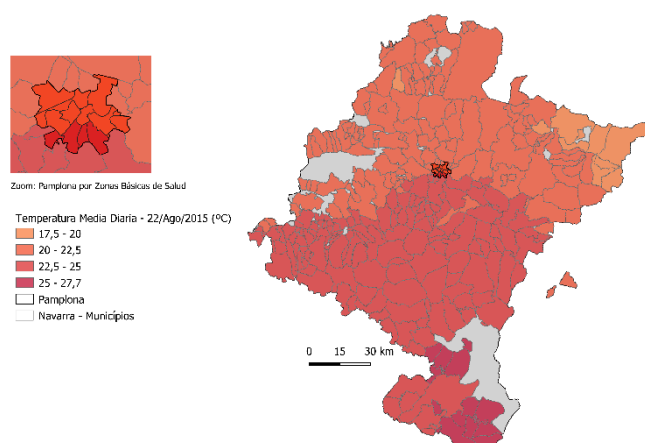
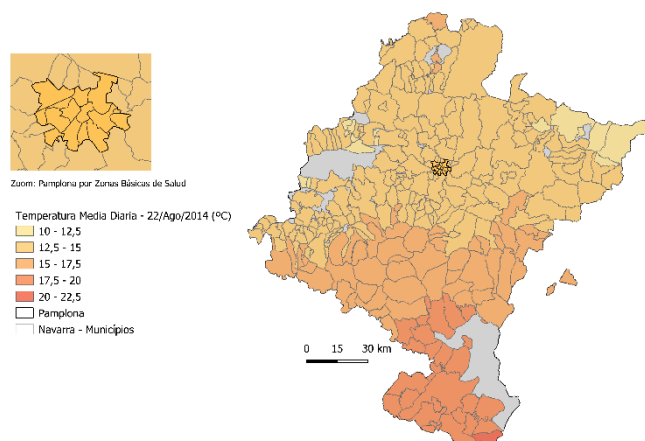
Finalmente, obtenemos el valor medio de PM_{2.5} para 2014 en el municipio de Fustiñana como:

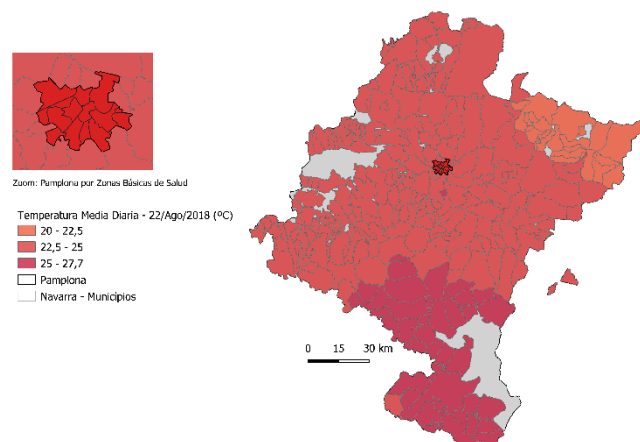
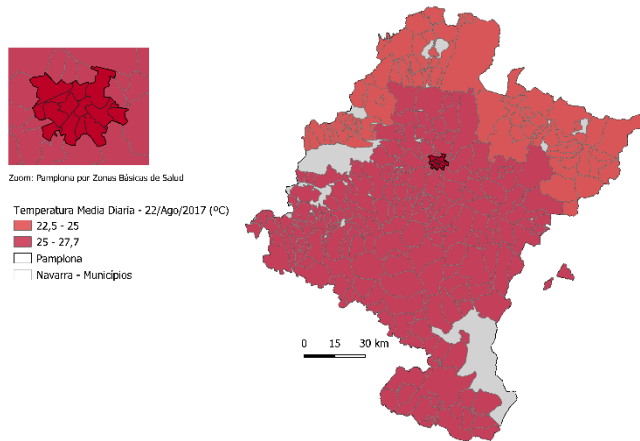
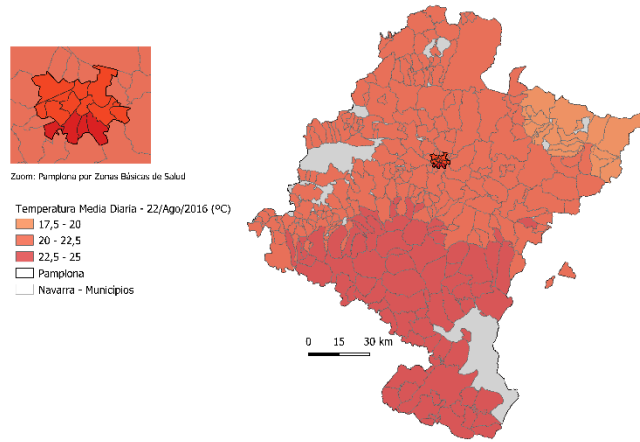
$$\text{Fustiñana PM}_{2.5\ 2014} = \text{Fustiñana PM}_{2.5\ \text{ELAPSE}\ 2010} * \text{Ratio Tudela PM}_{10\ 2014}$$

En consecuencia, $\text{Fustiñana PM}_{2.5\ 2014} = 12,2 * 0,68 = 7,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

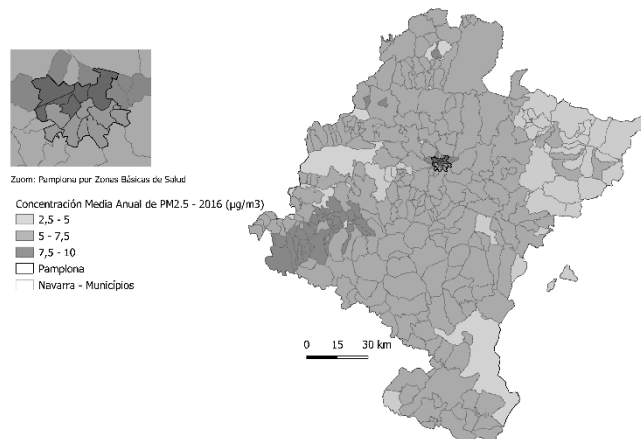
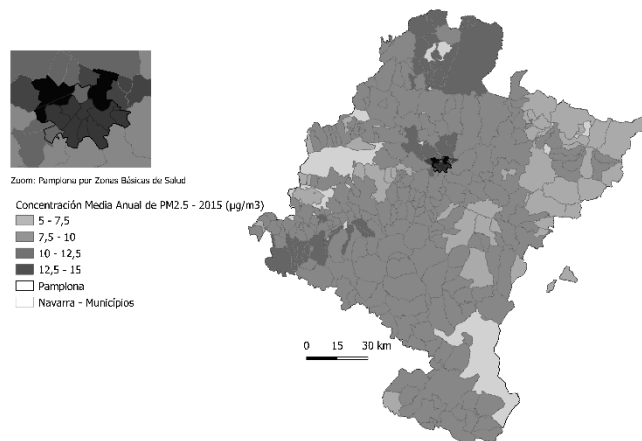
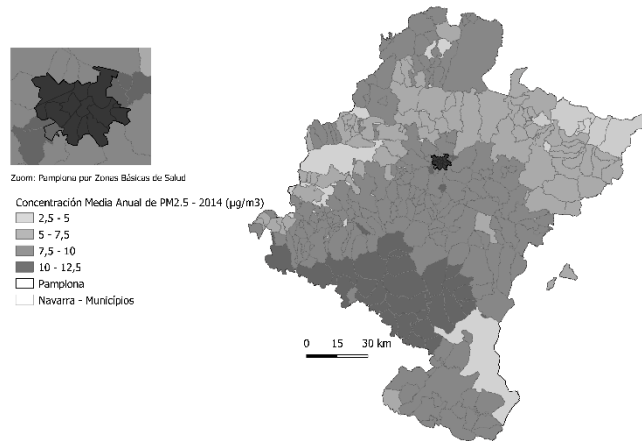
6.3 Suplemento 3. Exposiciones ambientales por municipio y año.

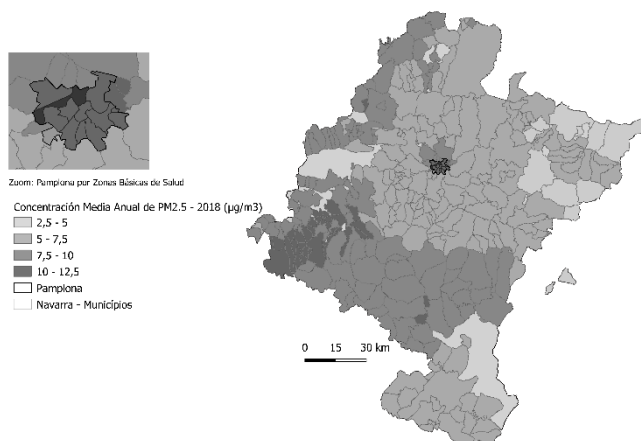
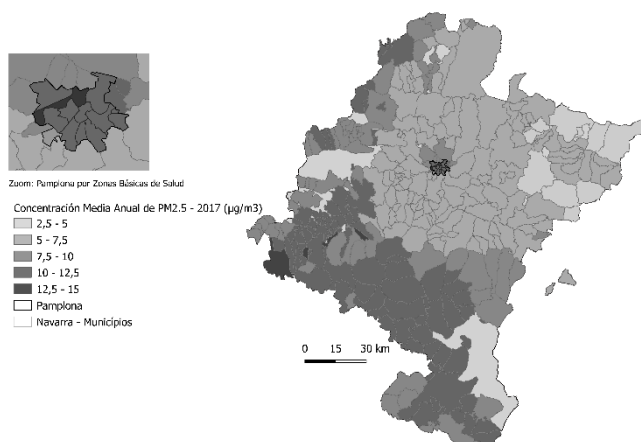
6.3.1 Temperatura



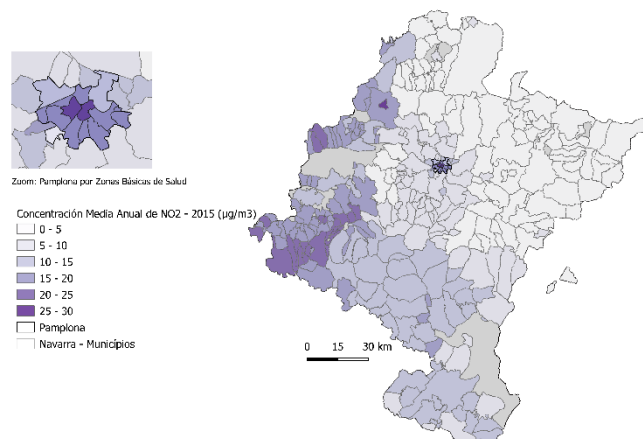
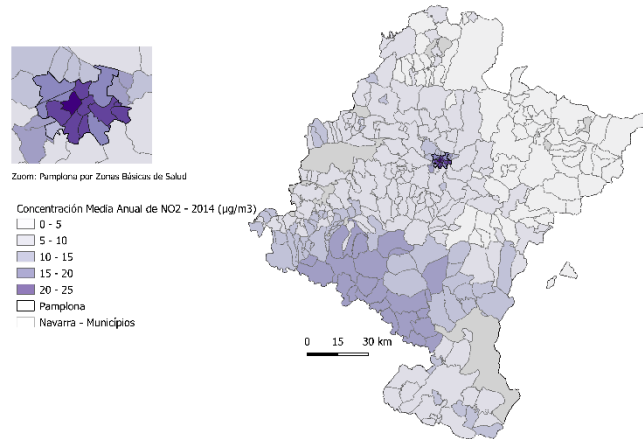


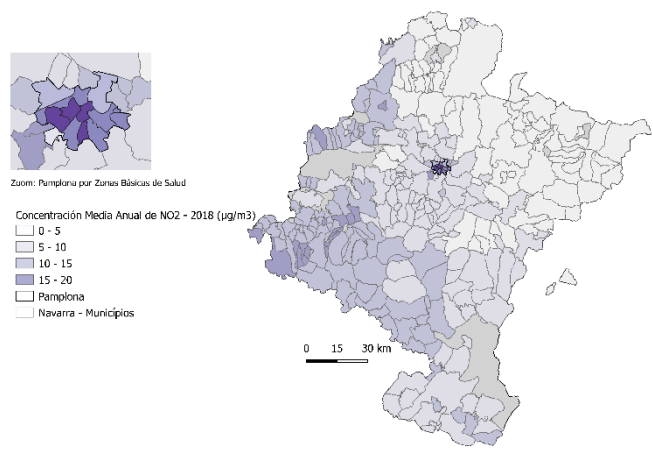
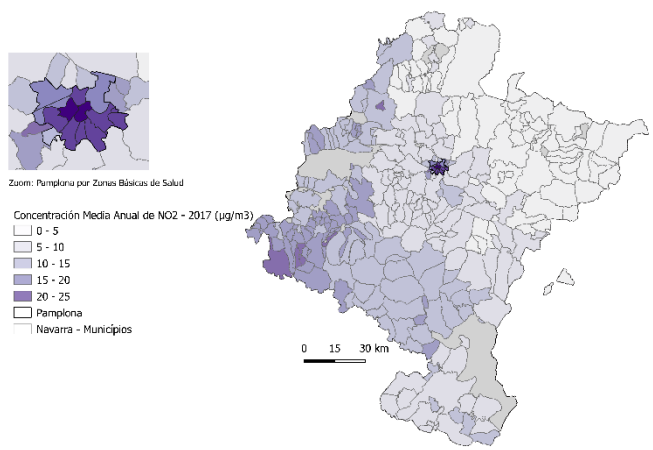
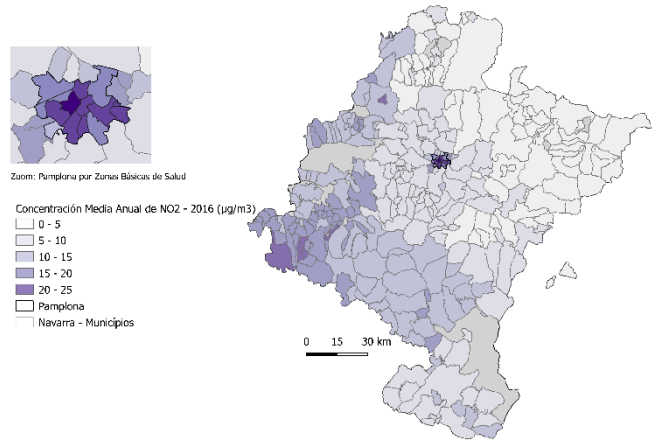
6.3.2 PM_{2.5}



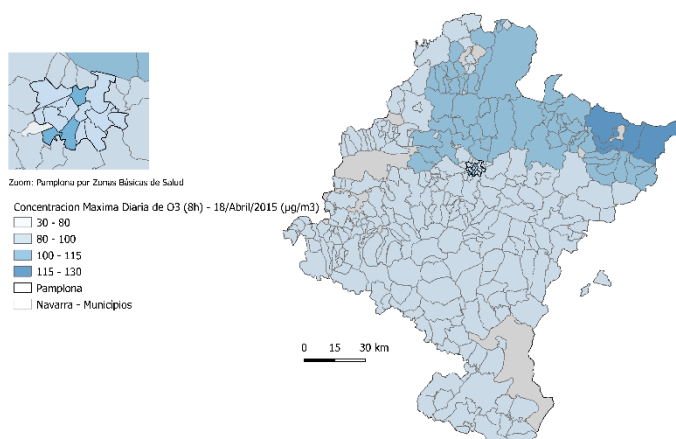
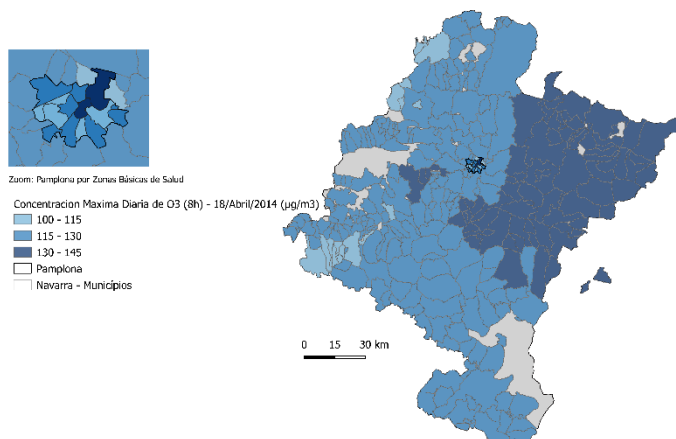


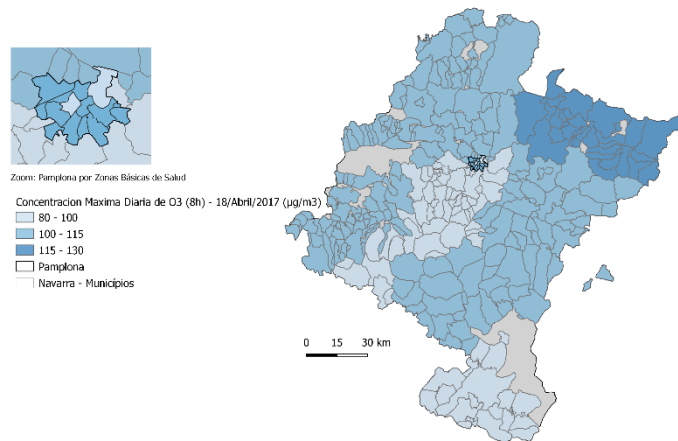
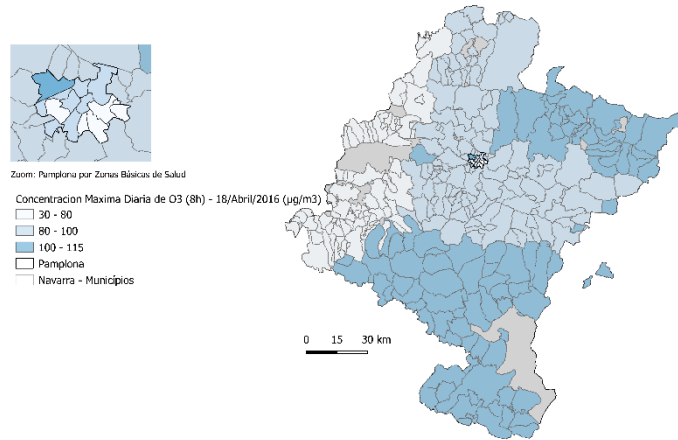
6.3.3 NO₂





6.3.4 O₃





6.4 Suplemento 4.

Se adjunta un documento de M.O. Excel con todos los datos y resultados.