



Análisis de la utilidad de los registros de mortalidad del INE para estudiar la relación entre mortalidad y contaminantes atmosféricos en España

Possible use of public mortality data from Spanish National Institute of Statistics database to study how air pollutants may impact mortality rates in Spain

AUTORA

(1) María Angulo Ardoy
[ORCID: 0000-0003-2171-2448]

FINANCIACIÓN

No se han recibido becas o ayudas para la elaboración de este artículo.

FILIACIÓN

(1) Equipo de Atención Primaria (EAP) Entrevías. SERMÁS.
MADRID, ESPAÑA.

CORRESPONDENCIA

María Angulo Ardoy
EAP Entrevías. C/Pedroches, 4. CP 28053. Madrid. España.
marangard@gmail.com

CITA SUGERIDA

Angulo Ardoy M. Análisis de la utilidad de los registros de mortalidad del INE para estudiar la relación entre mortalidad y contaminantes atmosféricos en España. Rev Esp Salud Pública. 2026; 100: 8 de octubre e202610069.

La autora declara que no existe ningún conflicto de intereses

RESUMEN

FUNDAMENTOS // La relación entre NO₂, SO₂, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, COVNM (compuestos orgánicos volátiles no metánicos) y mortalidad por todas las causas o cardiopatía isquémica ha sido abundantemente estudiada. Los niveles de dichos contaminantes se han reducido siguiendo pautas de la Organización Mundial de la Salud, sin monitorizar su impacto sobre la morbilidad. Nuestra intención fue explorar la relación entre contaminantes, la mortalidad por todas las causas y por cardiopatía isquémica.

MÉTODOS // Se realizó un estudio descriptivo longitudinal ecológico comparando los datos de mortalidad del Instituto Nacional de Estadística, por todas las causas y por cardiopatía isquémica, en conjunto y separadas por sexo y franjas de edad, con las emisiones contaminantes y las concentraciones medias de PM₁₀ y PM_{2.5} a nivel nacional de 2000-2021, mediante regresión lineal o logarítmica y regresión lineal múltiple.

RESULTADOS // La mortalidad por todas las causas presentó bajo coeficiente de correlación y regresión con los contaminantes, salvo al desglosarla por edades. La mortalidad por cardiopatía isquémica sí presentó correlación (coeficientes mayores de 0.7) y regresión con coeficientes elevados con los contaminantes, agregada como separada por sexos y edades. Existió elevada correlación y confusión entre contaminantes, pero no interacciones. R² fue mayor en mortalidad por todas las causas en hombres y jóvenes; en mortalidad por cardiopatía isquémica en mujeres y entre sesenta-setenta y nueve años. Los gases más relevantes y su importancia variaron con la edad.

CONCLUSIONES // El estudio detecta relación entre contaminantes y mortalidad, pero sobreestima su importancia respecto a la literatura previa. Los datos desglosados por patologías y edades presentan mayor precisión. Datos de concentración en periodos y áreas menores aumentarían la fiabilidad de los resultados.

PALABRAS CLAVE // Mortalidad por todas las causas; Mortalidad por cardiopatía isquémica; Contaminación atmosférica; INE (Instituto Nacional de Estadística); Mortalidad atribuible a contaminación atmosférica.

ABSTRACT

BACKGROUND // Relationship between NO₂, SO₂, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, COVNM (non-methane volatile organic compounds) and all-cause mortality or myocardial ischaemic mortality has been thoroughly studied. Levels of such pollutants have been reduced according to World Health Organization guidelines with no follow-up of their impact on mortality rates. Our goal was to explore the relationship between air pollutants and all-cause/myocardial ischaemic mortality.

METHODS // A descriptive longitudinal ecological study was carried out to compare National Institute of Statistics mortality rates, both all-cause and myocardial ischaemic deaths, as a whole, separated by sexes and age ranges to air pollutants brute emissions and average PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations nation-wide from 2000 to 2021, using lineal o logarithmic regression and multiple lineal regression.

RESULTS // All-cause mortality showed low correlation and regression with air pollutants except when studied by age-ranges. Myocardial ischaemic mortality did show significant correlation (coefficients over 0.7) and regression, as a whole, and while disaggregated by sexes or ages. There is high correlation and confusion among the air pollutants, but no interactions were detected. R² was higher in all-cause mortality for men and young ones; in myocardial ischaemic mortality, for women and age gap from sixty-seventy-nine. Most relevant air pollutants changed for different age-gaps.

CONCLUSIONS // The study shows relationship between mortality and air pollutants, overestimating their importance according to previous research. Data referred to specific entities or different age-gaps were more accurate. Using data on shorter time-lapses and areas would increase precision.

KEYWORDS // All-cause mortality; Myocardial ischemic mortality; Air pollutants; INE (National Institute of Statistics); Air pollution attributable death.

NOTAS

INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios han confirmado la relación entre niveles de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno (NO₂) (1-4), el dióxido de azufre (SO₂) (1,2,5), el monóxido de carbono (CO) (1,6), el ozono (O₃) (1-3,7) y las pequeñas partículas en suspensión de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}) (1-2,8-10) o a 10 micras (PM₁₀) (1,2,4,11) con la morbilidad no accidental por todas las causas (1,12-13), en concreto por cardiopatía isquémica (14), asma (3,15), EPOC (5) y cáncer de pulmón (13). Basándose en esta evidencia, desde 1987 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha emitido las *Guías para la Calidad Global del Aire* (1), actualizadas en 2022, estableciendo los límites recomendados de los contaminantes diana para reducir la morbilidad derivada de los mismos. Si bien la contaminación atmosférica en nuestro país ha disminuido por debajo de objetivos europeos (16) y las concentraciones de varios de los contaminantes no superan las recomendaciones, los niveles de ozono siguen siendo, por lo general, superiores a los objetivos (17-18). Los de NO₂ y PM₁₀ solo son superados en algunas estaciones puntuales.

En el caso de España, la OMS estima que en 2019 se produjeron 13.910 muertes relacionadas con la contaminación del aire (12); 7.974 por cardiopatía isquémica; 864 por cáncer de tráquea, esófago o pulmón; 1.400 por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Estas estimaciones están basadas en estudios

de cohortes realizados en diferentes países, incluyendo el estudio ELAPSE (2) a nivel europeo, que intenta valorar si concentraciones inferiores a las establecidas por la OMS siguen teniendo consecuencias negativas para la salud; pero no se realizan seguimientos sistemáticos con bases de datos poblacionales para monitorizar las variaciones de mortalidad en relación a los cambios de concentración de contaminantes.

En nuestro país, la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) (19) contiene datos de morbilidad y mortalidad agregados, referidos a nivel nacional, autonómico o provincial. Los datos de emisiones contaminantes sí se publican a nivel nacional y autonómico (16) por parte del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Las concentraciones de gases y partículas en la atmósfera se determinan en estaciones referidas a áreas geográficas menores que una provincia (17), con distribución y densidad irregulares a lo largo del territorio, y el INE ofrece una concentración media, ponderada por población (20), de los dos más extensamente medidos: PM_{2,5} y PM₁₀.

El objetivo de este estudio fue explorar la relación entre los datos de mortalidad por todas las causas y por cardiopatía isquémica (total y separado por sexos y franjas de edad) con las emisiones de NO₂, COVNM (compuestos orgánicos volátiles no metánicos), SO₂, NH₃ y PM_{2,5}, así como las concentraciones medias ponderadas de PM_{2,5} y PM₁₀ a nivel nacional en los años 2000 a 2021.

Este artículo tiene una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional. Usted es libre de Compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) bajo los siguientes términos: Atribución (debe darse el crédito apropiado, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo en cualquier manera razonable, pero no de alguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso); No comercial (no podrá utilizar el material con fines comerciales); Sin derivados (si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado); Sin restricciones adicionales (no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros hacer cualquier cosa que la licencia permita).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

SUJETOS Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo longitudinal ecológico sobre la mortalidad por todas las causas y la mortalidad por cardiopatía isquémica asociadas a contaminación atmosférica en España, entre los años 2000 y 2021.

El estudio se realizó usando las bases de datos de mortalidad y población del INE (19) entre 2000 y 2021; las emisiones brutas de NO₂, COVNM, SO₂, NH₃ y PM_{2,5}, facilitadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, de los años 2000 a 2021 a nivel nacional (16); y también la concentración media nacional, ponderada por población, de PM_{2,5} y PM₁₀ entre 2004 y 2021, único dato de contaminación suministrado por el INE (20) y solo disponible desde 2004. Se usan datos anuales por no estar desglosados los datos de contaminantes por meses en estas bases de datos públicas.

Se registró el año de referencia de los datos. Las emisiones de contaminantes (NO₂, COVNM, SO₂, NH₃ y PM_{2,5}) se midieron en kilotoneladas/año. La concentración media anual de PM_{2,5} y PM₁₀ (desde 2004) se midió en µg/m³/año.

Como variables de resultado se utilizaron las tasas de mortalidad por todas las causas y por mortalidad debida a cardiopatía isquémica, medidas en defunciones por cada 100.000 habitantes, obtenidas a partir de los registros del INE (19). Para obtener la mortalidad por cardiopatía isquémica se sumaron la debida a infarto y la debida a cardiopatía isquémica distinta de infarto de dicha base de datos. Se seleccionó la mortalidad por todas las causas (incluida la externa) y la cardiopatía isquémica por ser parámetros seguidos específica-

mente por la OMS con la misma codificación (incluyendo mortalidad externa), utilizada en las tablas de datos del INE y por ser esta última la patología más afectada por la contaminación en diversos estudios.

Dada la agregación de datos en las bases del INE, para valorar el efecto del sexo y la edad, se valoraron como resultados separados la mortalidad en hombres y en mujeres, así como en diferentes rangos de edad. Las edades se han distribuido en dos grupos de treinta años para las franjas de menor tasa de mortalidad (cero-veintinueve y treinta-cincuenta y nueve) y dos grupos de veinte años para las dos de mayor mortalidad (sesenta-setenta y nueve, y a partir de ochenta). Esta distribución viene condicionada por la agregación de edades con la que se obtuvieron los datos del INE (cero años, uno-catorce, quince-veintinueve, treinta-treinta y nueve y cada cinco años hasta los noventa y cinco); si bien esto supone analizar la mortalidad infantil junto a la de adultos jóvenes, la alternativa generaba demasiados grupos de análisis. Por otra parte, al usar datos agregados, la baja mortalidad infantil, en especial por cardiopatía isquémica, dificultaba el análisis. La mortalidad se midió en defunciones por cada 100.000 habitantes del mismo grupo de sexo o edad.

Se describió la evolución tanto de niveles de contaminantes (variables independientes) como de tasas de defunción (variables dependientes) en el periodo a estudio. Para comparar la mortalidad en diferentes grupos de sexo y edades se usaron medias e intervalos de confianza. Posteriormente, se estableció la correlación entre contaminantes y mortalidad mediante el

test de Pearson o Spearman, según la distribución fuese normal o no. Se ejecutó una regresión lineal para cada factor de riesgo y resultado y, posteriormente, una regresión lineal múltiple por pasos. La fuerza de la asociación se midió mediante coeficientes de correlación y regresión. Se valoraron posibles interacciones con una regresión sobre el producto de los gases incluidos en la fórmula. Para valorar la confusión se valoró si había más de un 10% de variación de los coeficientes en la RLM respecto a la simple. Se repitió el análisis excluyendo los años 2020 y 2021, años de la pandemia por la COVID-19. La colinealidad se midió con una matriz de correlación **[TABLA 2]**.

En el caso del SO_2 , se ordenó la variable por cuartiles y se realizó una regresión logarítmica. También se repitió el estudio excluyendo los años 2020 y 2021.

RESULTADOS

Entre 2000 y 2021, las emisiones de SO_2 presentaron un descenso brusco en 2007-2008 y progresivo el resto de años. Las de NH_3 oscilaron, con tendencia a la estabilidad. El resto de contaminantes presentaron una reducción mantenida, con mínimos entre 2019 y 2021 **[FIGURA 1]**. Las emisiones contaminantes y la concentración media ponderada de $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} se redujeron entre el 30,4% (emisiones de $\text{PM}_{2,5}$) y el 91,3% (emisiones de SO_2), con la excepción del NH_3 **[TABLA 1]**.

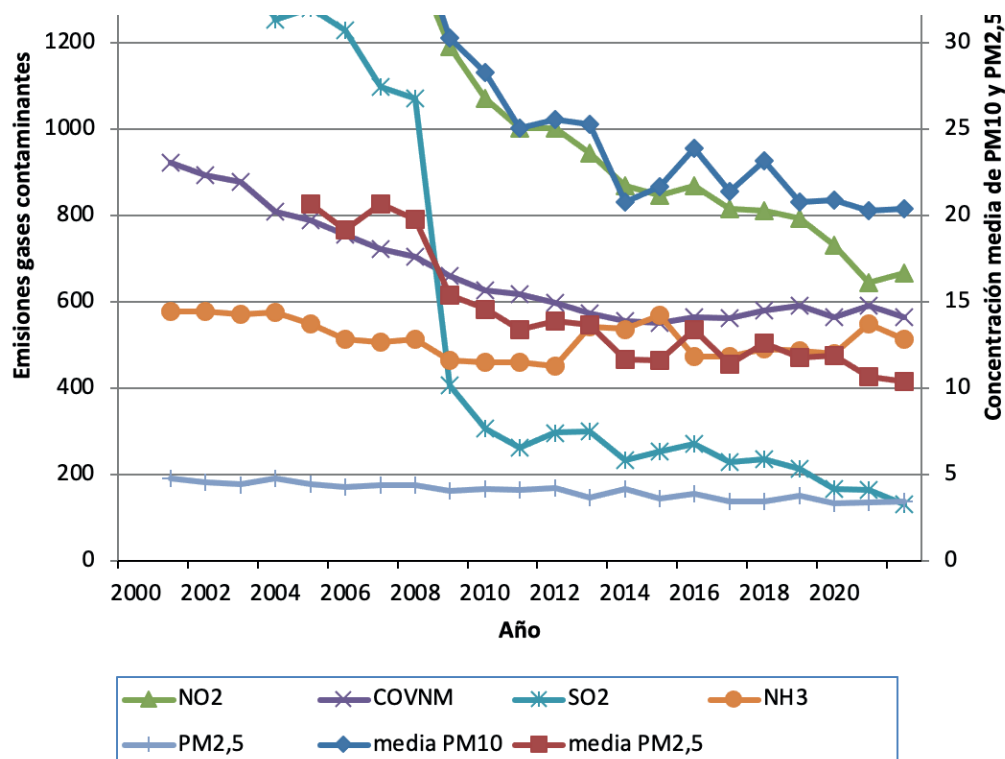
La mortalidad para el conjunto de la población osciló entre 821,84 y 1.043,20 defunciones por cada 100.000 habitantes en los años 2000-2021, con tendencia a la estabilidad salvo el pico de mortalidad de 2020. La mortalidad en hombres y mujeres siguió la misma evolución,

siendo la de hombres siempre superior a la conjunta y la de mujeres siempre inferior **[TABLA 1]**. Al separarla por edades, la mortalidad se redujo en todas, en mayor porcentaje a menor edad. Por su parte, la mortalidad por cardiopatía isquémica osciló de 60,87 a 97,15 defunciones por cada 100.000 habitantes, reduciéndose para el total de la población, hombres, mujeres y todas las edades en diferente porcentaje. La mortalidad en hombres fue siempre superior a la media y la de mujeres siempre inferior, con la misma tendencia que la global **[TABLA 1]**.

Al analizar las correlaciones de emisiones y niveles de contaminantes con las tasas de defunción por todas las causas **[TABLA 2]**, los coeficientes fueron inferiores a 0,5 en el total, en hombres y en mujeres, con cualquiera de las emisiones. Sin embargo, al separar las defunciones por rangos de edad, se apreciaron en casi todos los casos correlaciones de coeficiente positivo superior al 0,5, mayor en las franjas de edad inferiores. La correlación y colinealidad entre los contaminantes fueron también altas **[TABLA 2]**. La mortalidad por cardiopatía isquémica sí presentó una correlación positiva de coeficiente superior a 0,7 con los contaminantes, salvo el NH_3 , sobre todo para grupos de edades superiores a sesenta años **[TABLA 2]**.

Del mismo modo, las regresiones lineales simples entre mortalidad por todas las causas y contaminantes **[TABLA 3]** para el conjunto de la población, hombres y mujeres, no fueron significativas o arrojaron modelos con muy baja bondad de ajuste. Al separar por franjas de edad, sí se apreciaron regresiones cuyos coeficientes aumentaban con la edad. En la mortalidad por cardiopatía isquémica **[TABLA 4]**, la regresión lineal con cada contaminante por separado

Figura 1
Evolución de las emisiones de gases y concentraciones medias de PM_{10} y $PM_{2,5}$.



fue significativa, de coeficiente positivo, salvo para el NH_3 . En la franja entre cero y veintinueve años los coeficientes de regresión del NO_2 , COVNM y SO_2 fueron cercanos a cero (contenido en su IC95%).

La confusión y la colinealidad fueron frecuentes y las regresiones múltiples [TABLA 5] solo incluyeron entre uno y tres de los gases estudiados. No

se detectaron interacciones. Al repetir el análisis excluyendo los años 2020 y 2021, las relaciones fueron similares y al realizar una regresión logarítmica con SO_2 ordenado en cuartiles el resultado no fueron significativo.

En la mortalidad por todas las causas pareció haber diferencias por sexo en el impacto de los diferentes contaminantes, pero los modelos de RLM para el conjunto

Tabla 1
Mortalidad en el periodo estudiado.

	Rango (def./100.000 hab.)	Media (IC95%)	Mediana	Normal
TODAS_T	822-1.043	884,3 (862,5-906,2)	-	Sí
TODAS_H	862-1.076	926,2 (903,7-948,7)	-	Sí
TODAS_M	782,5-1.011,5	843,8 (821,0-866,6)	-	Sí
TODAS₀₋₂₉	23-54	34,8 (30-35,5)	31	No
TODAS₃₀₋₅₉	177-245	200,4 (189-211,8)	188,6	No
TODAS₆₀₋₇₉	1.322-2.010,5	1.613,5 (1.511,8-1.715,2)	-	Sí
TODAS_{≥80}	9.008-11.560	10.060,5 (9.676,1-10.445)	9.711,9	No
C.ISQ_T	61-97	78,2 (72,9-83,46)	-	Sí
C.ISQ_H	76,5-114	91,93 (86,52-97,3)	87,2	No
C.ISQ_M	45,94-81,89	64,9 (59,7-70,1)	-	Sí
C.ISQ₀₋₂₉	0,1-0,4	0,2 (0,2-0,3)	0,2	No
C.ISQ₃₀₋₅₉	13-22	16 (14,8-17,3)	14,6	No
C.ISQ₆₀₋₇₉	101-253,5	160 (137,6-182,5)	-	Sí
C.ISQ_{≥80}	568-1.201	890,4 (795,6-985,2)	-	Sí

Normal=distribución normal de los datos; (C)=concentración media ponderada anual; (E)=emisiones anuales; Todas=mortalidad por todas las causas; C.ISQ=mortalidad por cardiopatía isquémica; T=total; H=hombres; M=mujeres; 0-29=de 0 a 29 años; 30-59=de 30 a 59 años; 60-79=de 60 a 79 años; ≥80=80 o más años; def.=defunciones; hab.=habitantes.

Tabla 2

Correlaciones bilaterales entre niveles de contaminantes y defunciones (por todas las causas y por cardiopatía isquémica) en España, años 2000-2021.

		PM₁₀ (conc) (N=18)	PM_{2,5} (conc) (N=18)	NO₂ (E) (N=22)	COVNM (E) (N=22)	SO₂ (E) (N=22)	NH₃ (E) (N=22)	PM_{2,5} (E) (N=22)
DEF. TODAS (N=22)	TOTAL	-484	-00,447 _p	-0,239 _p	0,045 _p	-0,164 _p	0,305 _p	-0,344 _p
	hombres	-0,318 _p	-0,274 _p	0,015 _p	0,335 _p	0,092 _p	0,448	-0,136 _p
	mujeres	-0,632	-0,603	-0,490	0,252 _p	-0,416 _p	0,152	-0,521
	0-29 a	0,922	0,895	0,968	0,871	0,965	0,447	0,932
	30-59 a	0,813	0,702	0,902	0,912	0,907	475	0,888
	60-79 a	0,777	762	897	902	0,890	571	0,875
	>80 a	0,539	0,569	0,702	0,874	0,746	0,546	692
C.ISQ. (N=22)	TOTAL	0,945	0,926	0,980	0,871	0,979	0,521	0,910
	hombres	0,943	0,930	0,973	0,878	0,973	0,416 _p	0,927
	mujeres	0,953	0,936	0,979	861	0,977	0,460	0,920
	0-29 a	0,742	0,741	0,897	761	0,835	0,233	0,840
	30-59 a	0,707	0,620	880	0,804	0,854	0,580	0,842
	60-79 a	0,938	0,916	0,977	0,863	0,977	0,537	0,907
	>80 a	0,933	0,916	0,980	0,870	0,979	0,466	0,924
CONTAM.	PM ₁₀ (conc)	-	0,958	0,933	0,770	0,972	-0,140 _p	0,796
	PM _{2,5} (conc)	958	-	0,911	0,825	0,946	-0,141 _p	0,827
	NO ₂ (E)	0,933	0,911	-	0,836	0,962	0,384 _p	0,932
	COVNM (E)	0,770	0,825	0,836	-	0,852	0,395 _p	0,827
	SO ₂ (E)	0,972	0,946	962	0,852	-	0,436	0,896
	NH ₃ (E)	-0,140 _p	-0,141 _p	0,384 _p	0,395 _p	0,436	-	0,392 _p
	PM _{2,5} (E)	796	0,827	0,932	0,827 _p	0,896	0,392 _p	-

(conc)=concentración media ponderada por población; (E)=emisiones; DEF. TODAS=defunciones por todas las causas; C.ISQ.=defunciones por cardiopatía isquémica; EMIS.=emisiones; p=p>0,05.

Tabla 3
 Regresión lineal simple entre contaminantes y defunciones por todas las causas en España, años 2000-2021.

		TOTAL	Hombre	Mujer	0-29 A	30-59 A	60-79 A	≥80 A
PM₁₀	R ²	0,128	0,049	0,225	0,947	0,916	0,884	0,439 ^(*)
	(p)	(0,145)	(0,379)	(0,047)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(0,003)
	Coef.B	-3,047	-1,851	-4,228	1,237	2,678	25,388	67,364
	constante	961,567	967,444	956,415	-1,540	120,455	865,991	7.987,050
PM_{2,5}	R ²	0,131	0,052	0,227	0,906	0,878	0,819	0,389 ^(*)
	(p)	(0,139)	(0,362)	(0,046)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(0,006)
	Coef.B	-5,626	-3,492	7,731	2,204	4,778	44,523	115,447
	constante	961,468	968,452	955,186	-0,369	122,946	899,705	8.117,012
NO₂ (E)	R ²	0,100	0,009	0,260	0,929	0,861 ^(*)	0,872 ^(*)	0,546 ^(*)
	(p)	(0,151)	(0,680)	(0,015)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	-0,054	-0,16	-0,90	0,036	0,082	0,739	2,210
	constante	942,064	943,685	940,554	-3,646	112,362	821,510	7.693,914
COVNM (E)	R ²	<0,001	0,058	0,054	0,937	0,969	0,925	0,784 ^(*)
	(p)	(0,992)	(0,282)	(0,300)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	-0,001	0,100	0,098	0,086	0,207	1,808	6,289
	constante	884,978	859,602	908,939	-22,351	62,075	405,599	5.860,539
SO₂ (E)	R ²	0,003	0,034	0,074	0,914 ^(*)	0,931 ^(*)	0,895	0,708
	(p)	(0,819)	(0,411)	(0,220)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	-0,005	0,018	-0,027	0,020	0,048	0,420	1,411
	constante	887,425	914,960	860,677	22,340	170,556	1.351,940	9.182,231
NH₃ (E)	R ²	0,009	0,201	0,093	0,267 ^(*)	0,349 ^(*)	0,326 ^(*)	0,404 ^(*)
	(p)	(0,167)	(0,037)	(0,499)	(0,014)	(0,004)	(0,005)	(0,001)
	Coef.B	0,346	0,522	0,180	0,128	0,349	3,014	12,672
	constante	705,825	656,926	751,028	-31,293	20,519	58,820	3.524,969
PM_{2,5} (E)	R ²	0,075	0,019	0,271	0,791	0,744	0,765	0,463
	(p)	(0,117)	(0,546)	(0,013)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	-0,930	-0,378	-1,465	0,525	1,212	10,985	32,300
	constante	1.034,755	987,296	1.080,788	-50,177	4,306	-163,579	4.835,381

A=años; Coef.B=coeficiente de regresión; PM₁₀/PM_{2,5}=concentración media anual ponderada de PM₁₀/PM_{2,5}; (E)=Emisiones anuales; n=coeficiente no significativo o cuyo IC contiene el cero; ^(*)=no cumple condiciones de aplicación del test.

Tabla 4
Regresión lineal simple entre contaminantes y defunciones por cardiopatía isquémica en España, años 2000-2021.

		TOTAL	Hombre	Mujer	0-29 A	30-59 A	60-79 A	≥80 A
PM₁₀	R ²	0,879	0,898	0,844	0,500(*)	0,843	0,935	0,865
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	1,327	1,251	1,393	0,010	0,271	5,598	25,503
	constante	39,156	54,505	24,487	-0,055	7,818	-5,309	150,221
PM_{2,5}	R ²	0,863(*)	0,889	2,551	0,441	0,824	0,901	0,834
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	25,427	(0,003)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	2,397	2,267	2,551	0,017	0,488	10,017	45,635
	constante	39,965	55,157	25,427	-0,035	7,999	-0,542	171,889
NO₂ (E)	R ²	0,927	0,885	0,943	0,703	0,804	0,924(*)	0,947
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	0,039	0,040	0,039	0,000	0,009	0,168	0,718
	constante	35,954	49,497	22,907	-0,070	6,409	-19,748	121,711
COVNM (E)	R ²	0,876	0,925	0,810(*)	0,622	0,964	0,932(*)	0,833(*)
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	0,091	0,096	0,086	0,001	0,023	0,400	1,598
	constante	17,371	27,697	7,257	-0,187	0,416	-107,251	-176,625
SO₂ (E)	R ²	0,896	0,925	0,847	0,581	0,924	0,912(*)	0,849
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)
	Coef.B	0,022	0,023	0,021	0,000	0,005	0,094	0,381
	constante	64,656	77,797	51,922	0,141	12,684	101,800	653,255
NH₃ (E)	R ²	0,272(*)	0,336	0,211(*)	0,088	0,428	0,289(*)	0,217(*)
	(p)	(0,013)	(0,005)	(0,031)	(0,181)	(0,001)	(0,010)	(0,029)
	Coef.B	0,142	0,163	0,124	0,001	0,044	0,625	2,291
	constante	4,750	7,977	1,083	-0,110	-6,540	-162,497	-291,026
PM_{2,5} (E)	R ²	0,828	0,787	0,846	0,702	0,705	0,822	2,291
	(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	-291,026
	Coef.B	0,591	0,593	0,589	0,004	0,134	2,512	10,815
	constante	-17,466	-3,916	-30,438	-0,487	-5,584	-246,270	-859,121

A=años; Coef.B=coeficiente de regresión; PM₁₀/PM_{2,5}=concentración media anual ponderada de PM₁₀/PM_{2,5}; (E)=Emisiones anuales; n=coeficiente no significativo o cuyo IC contiene el cero; (*)=no cumple condiciones de aplicación del test.

Tabla 5
 Regresión lineal múltiple. Modelo óptimo para cada resultado.

		F(4,13)	R²	B	IC 95%	p
Def. todas causas				1.203,234	968,166–1.438,303	<0,001
	Emisiones PM _{2,5}	8,513	0,307	-2,059	(-2,918)–(-0,563)	0,010
Def. todas: HOMBRES				558,274	384,286–732,262	<0,001
	Conc. PM ₁₀			15,647	4,182–27,113	0,011
	Emisiones NO ₂	24,631	0,807	-0,721	(-0,952)–(-0,489)	<0,001
	Emisiones COVNM			1,068	0,562–1,574	<0,001
Def. todas: MUJERES				1.228,421	1.002,776–1.454,066	<0,001
	Emisiones PM _{2,5}	13,106	0,416	-2,452	(-3,888)–(-1,016)	0,002
Def. todas: 0-29 A.				-27,746	(-38,151)–(-17,341)	<0,001
	Emisiones NO ₂			0,022	0,17–0,26	<0,001
	Emisiones COVNM	480,188	0,988	0,065	0,44–0,85	<0,001
	Emisiones SO ₂			-0,006	(-0,10)–(-0,002)	0,004
Def. todas:30-59 A.				45,229	31,349–59,108	<0,001
	Emisiones COVNM	503,317	0,967	0,235	0,213–0,257	<0,001
Def. todas:60-79 A.				-	-	0,136
	Emisiones COVNM	139,326	0,897	2,178	1,787–2,569	<0,001
Def. todas: >80 AÑOS				3.331,311	807,954–5.854,669	0,013
	Emisiones NO ₂			13,923	7,272–20,570	<0,001
	Emisiones COVNM	18,337	0,671	-2,234	(-4,111)–(-0,358)	0,023
Def. C. Isq. TOTAL				48,160	35,331–60,989	<0,001
	Emisiones NO ₂	67,701	0,954	0,047	0,025–0,069	<0,001
Def. C. Isq. HOMBRES				56,980	52,633–61,327	<0,001
	Emisiones NO ₂	236,305	0,933	0,031	0,026–0,035	<0,001
Def. C. Isq. MUJERES				22,907	17,914–27,899	<0,001
	Emisiones NO ₂	329,317	0,943	0,039	0,035–0,044	<0,001
Def. C. Isq. 0-29 AÑOS				-0,487	(-0,706)–(-0,268)	<0,001
	Emisiones PM _{2,5}	47,110	0,702	0,004	0,003–0,006	<0,001
Def. C. Isq. 30-59 A.				-	-	0,075
	Emisiones COVNM			0,024	0,020–0,027	<0,001
	Emisiones NH ₃	104,762	0,924	0,008	0,001–0,016	0,036
Def. C. Isq. 60-79 A.				-	-	0,325
	Emisiones NO ₂	633,540	0,974	0,138	0,126–0,149	<0,001
Def. C. Isq. >80 AÑOS				226,311	142,121–310,501	<0,001
	Emisiones NO ₂	172,297	0,953	0,973	0,663–1,284	<0,001
	Emisiones PM _{2,5}			-25,973	(-49,466)–(-2,480)	0,032

Def.todas=defunciones por todas las causas; Def.C.Isq.=Defunciones por cardiopatía isquémica; Conc=concentración media ponderada por población.

de la población y hombres serían cuestionables: los contaminantes no mostraron correlación ni relación lineal por separado con ninguno de los dos resultados. En cardiopatía isquémica, NO_2 fue la variable más significativa en los tres grupos, con coeficientes de 0,0034 a 0,0047 (algo mayores en mujeres). Las diferencias fueron mayores, en cuanto al tipo de contaminante y sus coeficientes, por edades. En la mortalidad por todas las causas, el COVNM resultó el contaminante más relevante en edades inferiores a ochenta años (con mayor coeficiente a mayor edad) y pareció presentar un efecto protector en los mayores, siendo el NO_2 el principal factor de riesgo para este grupo. Así, 20 kt supondrían 1,3 muertes más por cada 100.000 habitantes de entre cero y veintinueve años, y solo 1 kt supondría 2,2 muertes más cada 100.000 en la franja de entre sesenta y setenta y nueve años. En la cardiopatía isquémica, por edades, variarían los contaminantes más relevantes y sus coeficientes. El NO_2 sería el más relevante en mayores de sesenta, siendo siete veces más letal en los mayores de ochenta que entre sesenta y setenta y nueve años.

Por regla general, el porcentaje de variación en la mortalidad explicado por la contaminación (R^2) tendía a ser mayor en hombres y población joven para la mortalidad por todas las causas, y mayor en mujeres y mayores (sobre todo entre sesenta y setenta y nueve años) en la mortalidad por cardiopatía isquémica.

DISCUSIÓN

En el estudio no se detecta correlación ni relación de regresión entre las emisiones y los niveles de los contaminantes estudiados y la mortalidad por todas las causas, en el total de

la población, en hombres o en mujeres. Sin embargo, el análisis por grupos de edad detecta una mayor relación estadística a menor edad. Para la cardiopatía isquémica sí se detecta un elevado grado de correlación y regresión lineal entre las variables, en este caso mayor al aumentar la edad y muy elevado para mayores de sesenta años. Por sexos, la contaminación tiene mayor impacto en mujeres en mortalidad por cardiopatía isquémica, siendo las diferencias en mortalidad por todas las causas no significativas.

El diseño del estudio es ecológico y, como tal, no permite establecer causalidad, tan solo relación. Los datos utilizados no son los óptimos para valorar la relación entre contaminación y mortalidad. Para empezar, las emisiones de contaminación atmosférica no correlacionan necesariamente con la concentración de los mismos a la cual ha estado sometida la población (16-17). Al utilizar emisiones brutas, salvo en el caso de la concentración media ponderada de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ (20), no se puede valorar el efecto sobre la concentración de clima, humedad, temperatura u orografía (14,17). Además, al estudiar variaciones anuales el efecto estacional también se diluye. Las concentraciones medias ponderadas de PM son aproximaciones groseras a la concentración real, dado que la cantidad de puntos de medida y su distribución no son homogéneas (17): lo ideal sería poder valorar los datos reales de las estaciones de medición respecto a la mortalidad en ese área. Respecto a los datos de mortalidad, el uso de datos agregados reduce la precisión del estudio, dificulta poder cuantificar el impacto de factores de riesgo como la edad o el sexo, e impide establecer causalidad. Otros factores de riesgo sobre los cua-

les se ha intervenido en este periodo (tabaquismo, hipertensión, diabetes...) no han sido estudiados por separado y podrían contribuir a magnificar o invertir la relación entre variables. El alto grado de correlación y confusión entre variables, así como la probable existencia de otros confusores no incluidos, reduce la fiabilidad de los resultados. El propio uso de regresiones lineales puede haber obviado otro tipo de relaciones estadísticas.

Por otra parte, el uso de las bases de datos del INE podría permitir una aproximación grosera al impacto que las medidas de reducción de la contaminación pueden tener sobre la salud, sin necesidad de realizar estudios de cohortes repetidos. Los datos muestran mayor relación para la cardiopatía isquémica que para la mortalidad por todas las causas, y es probable que, al estudiar entidades patológicas más específicas, las relaciones detectadas sean más fiables, eliminando la confusión que la diferente historia natural de distintas patologías pueda provocar.

Para 2019, la OMS estima una mortalidad atribuible a contaminación de 29,58 por cada 100.000 habitantes (12), un 3,32% de todas las muertes producidas en España en ese año: 32,28 muertes por cada 100.000 hombres (un 3,5%) y 26,99 muertes por cada 100.000 mujeres (un 3,14%). Con los datos obtenidos del INE, las emisiones de $PM_{2,5}$ han tenido un efecto protector en el total de la población y en mujeres. En varones, sin embargo, son otros los contaminantes relevantes en la RLM y la posible relación sí sería de riesgo. Respecto a la cardiopatía isquémica, la OMS estima 16,96 muertes por cada 100.000 habitantes atribuibles a contaminación (un 27,26%): 17,81 en hombres (23,17%) y 16,14 en mujeres

(33,55%). Nuestros datos sí sugieren un mayor riesgo de mortalidad por cardiopatía isquémica asociado a contaminación, discretamente mayor en mujeres.

Diversos metanálisis estiman un riesgo relativo (RR) de 1,04-1,08 de mortalidad por todas las causas por cada $5 \mu g/m^3$ de incremento de $PM_{2,5}$ (11,13,21); 1,04 por cada $10 \mu g$ de NO_2 (13,21) y 1,06 por cada $10 \mu g$ de PM_{10} (21). Para la cardiopatía isquémica, el RR aumenta en 1,08 por cada $10 \mu g$ de NO_2 y 1,1 por cada $5 \mu g$ de $PM_{2,5}$ (14). Estas relaciones se mantienen para niveles de contaminación inferiores a los recomendados por la OMS (2,13-14). Los coeficientes para PM_{10} y $PM_{2,5}$ en nuestra serie son 1,327 y 2,397 muertes más por cada 100.000 habitantes con cada $1 \mu g/m^3$, muy superiores a otras estimaciones, aunque no se pueden comparar con un RR y la diferencia podría deberse únicamente a la metodología.

Con los datos de nuestro estudio no se obtienen datos significativos para la mortalidad por todas las causas y, en algunos casos, la contaminación parece ser agente protector, probablemente por la acción de algún confusor (como la climatología y su impacto sobre varias entidades patológicas; o el aumento de actividad industrial y tráfico y su relación con el grado de ocupación, los ingresos medios y la capacidad de la población para acceder a cuidados básicos; etc.). Los resultados son estadística y epidemiológicamente más consistentes al estudiar una entidad específica como la cardiopatía isquémica. En ambas series, el peso de la contaminación en la mortalidad global es mayor en hombres y en la mortalidad por cardiopatía isquémica en mujeres (12). El peso de los diferentes contaminantes por sexos en la mortalidad por todas las causas podría deberse a la interac-

ción con otros factores biológicos, actitudes y exposiciones de riesgo, la diferente distribución etaria de mortalidad por sexos o el diferente impacto sobre la mortalidad de distintas entidades.

Respecto a las diferencias por edad detectadas en nuestro estudio, serían coherentes con la literatura previa (8,12,23). El RR de muerte por causa cardiovascular debida a contaminación es similar a todas las edades para PM_{10} , pero el riesgo de ingreso por patología respiratoria es mayor en jóvenes. Con el NO_2 , el riesgo de ingreso por patología respiratoria en jóvenes es similar, pero el riesgo de ingreso por patología cardiovascular es mayor en mayores de setenta y cinco años (23). Esto sería coherente con nuestro hallazgo de un diferente peso de distintos contaminantes a diferentes edades y un mayor peso de la contaminación en la mortalidad por cardiopatía isquémica en mayores. La diferencia de efecto entre hombres y mujeres también está reflejada en estudios previos (8,12), suponiendo un RR de 1,05 de evento cardiovascular atribuible a contaminación en mujeres frente a hombres, compatible con lo hallado en nuestro estudio. Las diferencias de contaminantes relevantes a cada edad podrían deberse tanto a interacciones con otros factores de riesgo, al diferente peso en la mortalidad de diferentes entidades, como al efecto acumulativo de algunos contaminantes a lo largo de la vida. Valorar este último punto requeriría estudios longitudinales prolongados en el tiempo.

Como dato a valorar, la falta de impacto de la COVID-19 en la relación detectada podría deberse a que el grupo

con mayor mortalidad durante la pandemia fueron los mayores de ochenta años, cuya mortalidad por todas las causas es la que menor relación y correlación con la contaminación muestra.

Si bien resultaría útil poder monitorizar el impacto de las políticas medioambientales sobre la salud de la población sin necesidad de estudios de cohortes repetidos, el uso de las bases de datos del INE presenta limitaciones. Muestran una tasa descendente de mortalidad por todas las causas y, específicamente, por cardiopatía isquémica, con una distribución por sexos y edades coherente con estudios previos (8,12,23), pero con cuantificaciones poco precisas y sin poder establecer causalidad. El estudio de patologías específicas, separadas por edades, ofrecería resultados menos distorsionados. Para mayor precisión, sería mejor estudiarlos datos de mortalidad por meses o trimestres, referidos a áreas geográficas menores, y, a ser posible, no agregados, para valorar el impacto de factores de riesgo asociados. Disponer de los datos de concentración real de los contaminantes sería más apropiado que el uso de las emisiones brutas. Lo ideal sería tener dichas concentraciones reales, en cada estación de medición, junto a la mortalidad por causas específicas en esa misma área, mes a mes.

El uso de las bases anuales de mortalidad puede servir como una primera aproximación al impacto de la contaminación sobre la salud poblacional, pero los resultados obtenidos a partir de estas tienen poca precisión como herramienta de seguimiento. ②

BIBLIOGRAFÍA

1. World Health Organization. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary*. Geneva: World Health Organization; 2021.
2. Hoek G et al. ELAPSE Project [Internet]. *ELAPSE. Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe*. 2019 [consultado 2 nov 2023]. Disponible en: <http://www.elapseproject.eu/>
3. Glenn BE, Espira LM, Larson MC, Larson PS. *Ambient air pollution and non-communicable respiratory illness in sub-Saharan Africa: a systematic review of the literature*. Environ Heal. 2022; 21(1):40.
4. Ni Y, Song W, Bai Y, Liu T, Li G, Bian Y et al. *Years of life lost (YLL) due to short-term exposure to ambient air pollution in china: A systematic review and meta-analysis*. Int J Environ Res Public Health. 2021; 18(21): 11467.
5. DeVries R, Kriebel D, Sama S. *Outdoor Air Pollution and COPD-Related Emergency Department Visits, Hospital Admissions, and Mortality: A Meta-Analysis*. COPD. 2017; 14(1): 113-121.
6. Song J, Qiu W, Huang X, Guo Y, Chen W, Wang D et al. *Association of ambient carbon monoxide exposure with hospitalization risk for respiratory diseases: A time series study in Ganzhou, China*. Front Public Heal. 2023;11:1106336.
7. Lin G, Wang Z, Zhang X, Stein A, Maji KJ, Cheng C et al. *Comparison of the association between different ozone indicators and daily respiratory hospitalization in Guangzhou, China*. Front Public Heal. 2023; 11:1060714.
8. Zhang J, Wang X, Yan M, Shan A, Wang C, Yang X et al. *Sex Differences in Cardiovascular Risk Associated With Long-Term PM_{2.5} Exposure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies*. Vol. 10, Front in Public Heal. 2022; 10:802167.
9. Wang Y, Eliot MN, Wellenius GA. *Short-term Changes in Ambient Particulate Matter and Risk of Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis*. J Am Heart Assoc. 2014;3(4): e000983.
10. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. *Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis*. Thorax. 2014; 69(7):660-665.
11. Chen J, Hoek G. *Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis*. Environ Int. 2020;143:105974.
12. The Global Health Observatory. *Ambient air pollution attributable deaths*. Geneva; 2022 [consultado 10 ago 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths>
13. Stafoggia M, Oftedal B, Chen J, Rodopoulou S, Renzi M, Atkinson RW et al. *Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project*. Lancet Planet Heal. 2022;6(1):9-18.
14. Wolf K, Hoffmann B, Andersen ZJ, Atkinson RW, Bauwelinck M, Bellander T et al. *Long-term exposure to low-level ambient air pollution and incidence of stroke and coronary heart disease: a pooled analysis of six European cohorts within the ELAPSE project*. Lancet Planet Heal. 2021;5(9):620-632.
15. Hu Y, Wu M, Li Y, Liu X. *Influence of PM1 exposure on total and cause-specific respiratory diseases: a systematic review and meta-analysis*. Environ Sci Pollut Res. 2022; 29(10):15117-15126.
16. *Emisiones de contaminantes atmosféricos por comunidades autónomas a partir del inventario español-serie 1990-2021. Informe*. Madrid: Ministerio para la Transición Energética y el Cambio climático; 2021.
17. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto demográfico. *Evaluación de la calidad del aire en España. Informe*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; 2019.
18. WHO. *WHO ambient air quality database, 2022 update: status report*. Geneva: World Health Organization; 2022.
19. Instituto Nacional de Estadística. *INEbase/Sociedad/Salud/ Estadística de defunciones según la causa de muerte/Últimos datos* [Internet]. Vol. 2021, Publicación del INE sobre defunciones según la causa de muerte. Madrid; 2020 [consultado 2 nov 2023]. p. 1-1. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176780&menu=ultiDatos&idp=1254735573175

- 20.** INE. *Población urbana expuesta a contaminación del aire* [Internet]. 2017 [consultado 11 ago 2023]. Disponible en: https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INESeccion_C&cid=1259944618679&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout¶m1=PYSDetalleFichaIndicador¶m3=1259937499084
- 21.** Boogaard H, Samoli E, Patton AP, Atkinson RW, Brook JR, Chang HH et al. *Long-term exposure to traffic-related air pollution and non-accidental mortality: A systematic review and meta-analysis*. Environ Int. 2023;176:107916.
- 22.** Jaganathan S, Jaacks LM, Magsumbol M, Walia GK, Sieber NL, Shivasankar R, Dhillon PK, Shahul Hameed S, Schwartz J, Prabhakaran D et al. *Association of Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardio-Metabolic Diseases in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review*. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(14):2541.
- 23.** Anderson HR, Atkinson RW, Bremner SA, Marston L. *Particulate air pollution and hospital admissions for cardiorespiratory diseases: Are the elderly at greater risk?* Eur Respir J Suppl. 2003;40: 39S-46s.