

Efectos a corto plazo de las intrusiones de polvo sahariano en las variables adversas al nacimiento en España

Efeitos a curto prazo da intrusão de poeiras do Sahara em variáveis adversas do nascimento em Espanha

Short-term effects of Saharan dust intrusions on births outcomes in Spain

Isabel Moreira¹, Julio Díaz Jiménez¹, José Manuel Vellón Graña², Fernando Follos Pliego², Gerardo Sánchez Martínez³, Cristina Linares Gil¹

¹Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III, Madrid, Spain.

²Tdot Soluciones Sostenibles, S.L. Ferrol, A Coruña, Spain.

³The UNEP DTU Partnership, Copenhagen, Denmark.

Cita: Moreira I, Díaz Jiménez J, Vellón Graña JM, Follos Pliego F, Sánchez-Martínez G, Linares C. Efectos a corto plazo de las intrusiones de polvo sahariano en las variables adversas al nacimiento en España. Rev. salud ambient. 2020; 20(2):109-118.

Recibido: 9 de junio de 2020. **Aceptado:** 23 de septiembre de 2020. **Publicado:** 15 de diciembre de 2020.

Autor para correspondencia: Julio Díaz Jiménez.

correo e: j.diaz@isciii.es

Escuela Nacional de Sanidad. Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

El objetivo que se plantea en este trabajo es analizar diferentes factores atmosféricos como son las concentraciones de material particulado de diámetro inferior a 10 micras (PM_{10}), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono troposférico (O_3) y la existencia o no de extremos térmicos, a través de la influencia de olas de calor y frío, inciden sobre el número de partos, los partos prematuros y los nacimientos con bajo peso que se producen en España en días con intrusión de polvo del Sahara. Las variables dependientes a nivel provincial son: número de partos totales, número de partos con bajo peso (<2 500 g) y número de partos prematuros (<37 semanas). Los días con intrusión se clasificaron para 9 regiones en España según datos facilitados por MITECO. En cada capital seleccionada se registran las concentraciones medias diarias de PM_{10} , NO_2 y O_3 ($\mu g/m^3$) (datos proporcionados también por MITECO). La temperatura máxima y mínima diaria ($^{\circ}C$) corresponden al observatorio meteorológico de referencia y fueron suministrados por AEMET. Mediante modelos log-lineales de regresión de Poisson se calculan los riesgos relativos (RR) y los riesgos atribuibles (RA) asociados a las variables estadísticamente significativas a $p < 0,05$. Los resultados obtenidos indican que los días con intrusión de polvo del Sahara, más allá del impacto de las PM_{10} , contaminantes primarios como el NO_2 , las olas de calor o el O_3 , se asocian con un aumento de partos y un mayor riesgo de bajo peso al nacer o prematuridad. Los RR y el RA de los contaminantes y las olas de calor son superiores a los obtenidos para las PM_{10} . Los resultados de este estudio indican que los días con advección de polvo del Sahara constituyen un especial riesgo para que se produzcan partos prematuros y partos con bajo peso al nacer.

Palabras clave: intrusiones saharianas; olas de calor; olas de frío; variables al nacimiento.

Resumo

Este trabalho objetiva analisar de que forma diferentes fatores atmosféricos, como as concentrações de material particulado de diâmetro inferior a 10 microns (PM_{10}), o dióxido de nitrogénio (NO_2), o ozono troposférico (O_3) e a existência ou não, de eventos térmicos extremos, através da influência das ondas de calor e de frio, incidem sobre o número de partos, partos prematuros e

nascimentos de baixo peso em Espanha, nos dias de intrusão de poeiras do Sahara. As variáveis dependentes a nível provincial são: o número de partos totais, número de partos com baixo peso (<2 500 g) e o número de partos prematuros (<37 semanas). Nos dias com intrusão classificaram-se para 9 regiões em Espanha segundo dados fornecidos por MITECO. Em cada capital selecionada, registaram-se as concentrações médias diárias de PM_{10} , NO_2 e O_3 ($\mu g/m^3$) (Dados também fornecidos por MITECO). A Temperatura máxima e mínima diária ($^{\circ}C$), correspondem ao observatório de referência e foram facultadas pela AEMET. Através de modelos log-lineares de regressão de Poisson calcularam-se, o Risco Reativo (RR) e o Risco Atribuível (RA), associados às variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Os resultados obtidos indicam que os dias de intrusão de poeiras do Sahara, além do impacto do PM_{10} , poluentes primários como NO_2 , ondas de calor ou O_3 , estão associados ao aumento de partos e ao maior risco de baixo peso ao nascer e a nascimentos prematuros. Os RR e RA de poluentes e as ondas de calor são superiores aos obtidos para PM_{10} . Os resultados deste estudo indicam que os dias de advecção de poeira do Sahara constituem um risco potencial para ocorram partos prematuros e baixo peso no nascimento.

Palavras-chave: Intrusões Saharianas; ondas de calor; ondas de frio; variáveis relacionadas com o nascimento.

Abstract

The purpose of this study is to analyze the short-term effects of atmospheric pollutant concentrations and heat/cold waves on adverse outcomes at birth associated with Saharan dust advection. The dependent variables used in this analysis were the total number of births, the number of births showing low birth weight (< 2 500 g) and the number preterm births (< 37 weeks) occurred in Spain (data provided by INE). Days with Saharan dust intrusion were classified in each of the nine regions in Spain and provided by MITECO. A representative city was selected for each region, for which the recorded average daily concentrations of PM_{10} , NO_2 and O_3 ($\mu g/m^3$) were used (also provided by MITECO). The daily maximum and daily minimum temperatures ($^{\circ}C$) used were those recorded by the meteorological observatory station located in each province's capital (provided by AEMET). The associated relative risks as well as the attributable risk (AR) for days with and without intrusion of natural particulate matter were measured using Poisson log linear regression models. The results obtained show that the days with Saharan dust intrusion -beyond the impact of PM_{10} , primary pollutants such as NO_2 , heat waves and O_3 - are linked to the total number of births, the number of births showing low birth weight and the number of preterm births. The results of this study indicate that pregnant women are at risk during days with high natural particulate matter concentrations due to the advection of Saharan dust put.

Keywords: minimum mortality temperature; adaptation; daily mortality; prevention plans.

INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios analizan el impacto sobre la salud producido por la advección del material particulado atmosférico procedente del desierto del Sahara¹. Este tipo de aportes de partículas son especialmente importantes en áreas urbanas, contribuyendo a incrementar los niveles de material particulado atmosférico en España en un 4 %².

La mayor parte de estas investigaciones relacionan el incremento de las concentraciones de material particulado proveniente del Sahara sobre la mortalidad y la morbilidad diaria³⁻⁵. Aunque las principales causas de morbimortalidad analizadas son las cardiorrespiratorias⁶, también se relacionan las intrusiones de polvo del Sahara con el aumento de casos de enfermedades infecciosas como la meningitis⁷. La metodología comúnmente utilizada en estos trabajos son los modelos log-lineales de regresión de Poisson^{8,9} o casos cruzados¹⁰ y se suele controlar por variables de confusión como temperatura, humedad y otros contaminantes.

Nuevas investigaciones establecen que las intrusiones de polvo del Sahara no solo aportan material particulado

a la atmósfera, sino que las condiciones meteorológicas a escala sinóptica que favorecen estas advecciones, modifican la estructura de la atmósfera, haciendo que la altura de la capa de mezcla disminuya¹¹. Esta modificación tiene un impacto no solo en el incremento del material particulado si no también en la dificultad de la dispersión convectiva de todos los contaminantes atmosféricos, lo que supondrá el incremento de las concentraciones de otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno, especialmente preocupantes en atmósferas urbanas¹². Además, las condiciones atmosféricas en las que se producen la entrada de polvo del Sahara en España, suelen llevar asociadas elevadas temperaturas y alta insolación, por lo que deben considerarse otros factores que inciden conjuntamente sobre la salud de la población como es el caso del ozono troposférico y el impacto las olas de calor sobre la población¹³.

Por último, pese a que existan numerosas investigaciones en relación a la incidencia que el material particulado tiene sobre el embarazo¹⁴⁻¹⁶ apenas se han realizado estudios que analicen cómo las advecciones de material particulado de origen natural pueden influir en las denominadas variables adversas al nacimiento^{17,18}.

El objetivo que se plantea en este trabajo es analizar cómo diferentes factores atmosféricos como son las concentraciones de material particulado de diámetro inferior a 10 micras, denominadas PM_{10} , dióxido de nitrógeno, denominado NO_2 , y ozono troposférico, denominado O_3 , y la existencia o no de extremos térmicos, a través de la influencia de olas de calor y frío, inciden sobre el número de partos, los partos prematuros y los nacimientos con bajo peso que se producen en España en días con intrusión de polvo del Sahara.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. DETERMINACIÓN DE LOS DÍAS CON INTRUSIÓN DE POLVO DEL SAHARA

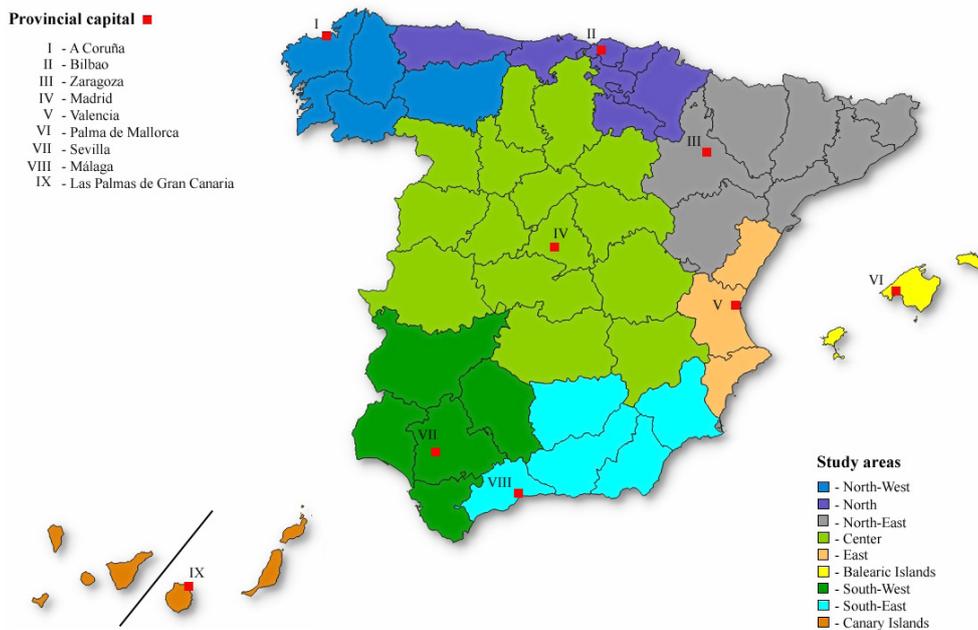
La clasificación de los días con intrusión de polvo del Sahara se ha determinado a partir de la información suministrada por el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España (MITECO)¹⁹. Según la metodología del MITECO, España se divide en nueve áreas denominadas: North, North-East, North-West, Centre, South-East, South-West, East, Canary Islands y Balearic Islands, como puede verse en la figura 1. Para identificar la existencia de un día de intrusión de polvo del Sahara se realiza una primera evaluación del proceso de advección basado en el análisis de retro trayectorias de

masas de aire, mapas sinópticos, imágenes de satélite y de modelos numéricos de pronóstico de polvo mineral y posteriormente, una validación del impacto real del polvo africano en los niveles registrados en superficie, a partir de un análisis estadístico aplicado a series temporales de valores medios diarios de PM_{10} obtenidos en estaciones de medida de fondo regional en cada una de las áreas consideradas. Este es uno de los métodos oficiales recomendados por la Comisión Europea para la evaluación de la ocurrencia de intrusiones de polvo de origen africano²⁰.

2. VARIABLES UTILIZADAS

En cada una de las 9 regiones antes descritas se ha seleccionado una provincia representativa en base a la existencia y calidad de los datos de contaminación atmosférica, meteorológicos y de variables relacionadas con la gestación. Para la región North, la provincia seleccionada es Vizcaya; para la región North-East la provincia seleccionada es Zaragoza; para la región North-West la provincia seleccionada es A Coruña; en la región Centre la provincia seleccionada es Madrid; en la región South-East la provincia seleccionada es Málaga; en la South-West se selecciona Sevilla; en la región East se selecciona Valencia; en Canary Islands la provincia seleccionada es Las Palmas y en la región de Balearic Islands la provincia seleccionada es Mallorca (figura 1).

Figura 1. Ubicación de las diferentes áreas de estudio y de la ubicación de las ciudades seleccionadas en las que se ha realizado el estudio



El periodo de estudio analizado es el comprendido desde el 1 de enero de 2004 hasta el 31 de diciembre de 2009 para todas las variables.

3. VARIABLES DEPENDIENTES

Los datos de estas tres variables fueron suministrados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

- *Número de partos diarios* ocurridos en todos los municipios de más de 10 000 habitantes de esa provincia. Denominados PT (Partos Totales) en el estudio.
- *Número de partos con bajo peso diarios*, entendiendo por bajo peso aquellos nacimientos de bebés con menos de 2 500 g (ICD-10: P07.0-P07.1). Denominados BP (Bajo Peso) en el estudio.
- *Número de partos prematuros diarios*, es decir, aquellos que se produjeron antes de la semana 37 de gestación (ICD-10: P07.2-P07.3). Denominados PP (Parto Prematuro) en el estudio.

4. VARIABLES INDEPENDIENTES

- *Variables de contaminación atmosférica*: Concentraciones medias diarias de PM₁₀, NO₂ y O₃ en (µg/m³) obtenidas como el valor promedio de los valores de estos contaminantes medidos en las estaciones ubicadas en la capital de cada provincia antes reseñada. Estos datos han sido suministrados por el MITECO.

- *Variables meteorológicas*: Se ha utilizado las temperaturas máximas diarias (T_{max}) y las temperaturas mínimas diarias (T_{min}) en °C, registradas en el observatorio de referencia de la provincia, ubicado en la capital. Los datos han sido suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Estudios previos realizados con las variables dependientes descritas han mostrado que la relación funcional existente entre ellas y las concentraciones medias diarias de PM₁₀ y NO₂ son lineales^{15,16}. Sin embargo, la relación funcional con el O₃ es cuadrática^{15,16}, lo que significa que existe un valor para la concentración media diaria de ozono denominado O_{3umbral}, a partir del cual el impacto en salud debe considerarse²¹. Este valor varía de una ciudad a otra. En la tabla 1, se muestran los valores de O_{3umbral} ya calculados previamente para cada una de las capitales de provincia consideradas en este estudio. Donde no hay O_{3umbral} se asume que no existe impacto del O₃ sobre las variables dependientes aquí analizadas.

De forma similar, los extremos térmicos, olas de calor y frío también pueden influir en las variables de gestación consideradas^{15,16}. Las olas de calor se caracterizan por la existencia de una temperatura máxima diaria umbral, denominada T_{umbral_calor}, a partir de la cual la mortalidad por calor aumenta de forma estadísticamente significativa²². Esta T_{umbral_calor} varía de una provincia a otra. En la tabla 1, se muestran los valores de T_{umbral_calor} para cada una de las ciudades consideradas. Análogamente, para el caso del frío existe una temperatura mínima diaria por debajo de la cual aumenta la mortalidad diaria de forma estadísticamente significativa²³, denominada aquí de forma análoga T_{umbral_frio}. En la tabla 1 se muestran también estas temperaturas.

Tabla 1. Temperaturas de definición de ola de frío y de ola de calor y de la concentración umbral diaria de ozono para cada una de las capitales consideradas

| Ciudad | Temperatura mínima diaria (°C) definición ola de frío (T _{umbral_frio}) | Temperatura máxima diaria (°C) definición ola de calor (T _{umbral_calor}) | Concentración Umbral diaria Ozono (µg/m ³) (O _{3umbral}) |
|-------------------|---|---|--|
| Bilbao | -2 | 30 | 72 |
| Zaragoza | -2 | 36 | 72 |
| A Coruña | 4 | 26 | 71 |
| Madrid | -2 | 34 | 60 |
| Málaga | 4 | 40 | Sin umbral |
| Sevilla | 2 | 40 | 95 |
| Valencia | 2 | 34 | 99 |
| Las Palmas | Sin Umbral | 32 | 53 |
| Palma de Mallorca | 0 | 36 | Sin umbral |

Para determinar si las diferencias entre las variables son estadísticamente significativas o no en los días con y sin advección de polvo del Sahara se utilizó un estadístico paramétrico (t-Test).

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Se realizó un estudio ecológico longitudinal de series temporales para relacionar las variables dependientes con las independientes mediante modelos log-lineales (GLM) con *link* Poisson. El análisis se realizó tanto para días con advección de polvo del Sahara como para días sin advección. En este análisis se incluyeron además otras variables para controlar por tendencia, estacionalidad, días de la semana y carácter autorregresivo de las series. Las estacionalidades se tuvieron en cuenta mediante funciones seno y coseno de periodicidades anual, semestral, cuatrimestral y trimestral y los días de la semana mediante variables *dummy*. La tendencia se consideró con la inclusión de un contador n_1 , que es igual a 1 el 1 de enero de 2004, $n_1=2$, el 2 de enero de 2004, hasta $n_1=2192$, el 31 de diciembre de 2009. Además, puesto que el efecto de las variables independientes sobre las dependientes puede estar retrasado en el tiempo, se crearon retrasos de hasta 5 días para PM_{10} y NO_2 ; 9 para el caso del ozono; 5 para T_{heat} y 14 para T_{cold} . El proceso de modelización fue de *Backwards-Step* eliminando aquellas variables que no fueron significativas a $p<0,05$.

La modelización Poisson permite obtener los riesgos relativos (RR) asociados a cada variable independiente estadísticamente significativa para incrementos de $10 \mu g/m^3$ en las variables de contaminación y de $1 \text{ }^\circ C$ para las de temperatura. A partir de los RR se calculó la proporción de riesgos atribuibles poblacional (RA) a partir de la ecuación de Coste & Spira²⁴: $RA = (RR-1)*100/RR$.

Los programas estadísticos utilizados fueron SPSS Statistics v.22 (IBM Company) and STATA/SE14.1 (StataCorp LP).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra el número de días con intrusión de polvo del Sahara en cada una de las regiones y de los estadísticos descriptivos de las variables dependientes en los días con advección de polvo del Sahara frente a los días sin advección. Los valores de los días con advección oscilan entre los 210 de A Coruña (9,6 % de los días) y los 660 de Málaga (30,1 %). En relación a las variables dependientes es de destacar que únicamente en la provincia de Madrid los partos totales son superiores con significación estadística los días con advección de polvo frente a los días sin advección. No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores del número de partos prematuros y el número de partos con bajo peso al nacer los días con y sin advección para las nueve provincias analizadas.

Tabla 2. Valores medios e intervalos de confianza al 95 % (95 % IC) de partos totales, partos prematuros y bajo peso al nacer para días con y sin advección de polvo del Sahara según regiones y capitales de provincia

| Región | Ciudad | Días CON Advección de Polvo Sahariano | | | Días SIN Advección de Polvo Sahariano | | | | |
|------------------|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | | N | Partos Totales media 95% CI | Partos Prematuros media 95% CI | Bajo Peso media 95% CI | N | Partos Totales media 95% CI | Partos Prematuros media 95% CI | Bajo Peso media 95% CI |
| North | Bilbao | 220 | 8,83 (8,39 - 9,27) | 0,58 (0,47 - 0,69) | 0,62 (0,51 - 0,73) | 1972 | 8,18 (8,05 - 8,31) | 0,64 (0,60 - 0,68) | 0,61 (0,57 - 0,65) |
| North-East | Zaragoza | 346 | 18,99 (16,49 - 21,49) | 1,69 (1,54 - 1,84) | 1,58 (1,43 - 1,73) | 1273 | 18,50 (18,27 - 18,73) | 1,71 (1,64 - 1,78) | 1,58 (1,51 - 1,65) |
| North-West | A Coruña | 210 | 5,62 (5,27 - 5,97) | 0,45 (0,35 - 0,55) | 0,49 (0,39 - 0,59) | 1982 | 5,62 (5,37 - 5,87) | 0,47 (0,44 - 0,50) | 0,44 (0,41 - 0,47) |
| Centre | Madrid | 398 | 95,61* (94,02 - 97,20) | 7,93 (5,59 - 8,27) | 7,25 (6,94 - 7,56) | 1794 | 92,97 (92,23 - 93,71) | 7,63 (7,48 - 7,78) | 7,05 (6,90 - 7,20) |
| South-East | Málaga | 660 | 17,82 (17,47 - 18,17) | 1,65 (1,54 - 1,76) | 1,57 (1,46 - 1,68) | 1532 | 17,97 (17,73 - 18,21) | 1,60 (1,53 - 1,67) | 1,55 (1,48 - 1,62) |
| South-west | Sevilla | 554 | 21,96 (21,54 - 22,38) | 2,04 (1,90 - 2,18) | 1,81 (1,68 - 1,94) | 1638 | 21,84 (21,59 - 22,09) | 1,90 (1,82 - 1,98) | 1,73 (1,67 - 1,70) |
| East | Valencia | 481 | 23,19 (22,53 - 23,85) | 2,04 (1,89 - 2,19) | 2,00 (1,85 - 2,15) | 1711 | 23,27 (22,94 - 23,60) | 1,89 (1,81 - 1,97) | 1,94 (1,86 - 2,02) |
| Canary Islands | Las Palmas | 491 | 9,68 (9,38 - 9,98) | 0,91 (0,82 - 1,00) | 0,79 (0,70 - 0,88) | 1701 | 9,83 (9,67 - 9,99) | 0,87 (0,82 - 0,92) | 0,85 (0,80 - 0,90) |
| Balearic Islands | Palma Mallorca | 448 | 12,23 (11,88 - 12,58) | 1,00 (0,89 - 1,11) | 1,04 (0,93 - 1,15) | 1744 | 12,04 (11,86 - 12,22) | 0,93 (0,88 - 0,98) | 0,91 (0,86 - 0,96) |

*Diferencias estadísticamente significativas $p<0,05$ entre días con y sin advección.

En la figura 2 se muestra la comparativa entre las variables independientes los días con y sin advección de polvo del Sahara. Los valores de PM₁₀ en todas las ciudades son mayores con diferencia estadísticamente significativa en los días con advección vs. a los días sin advección. También se observa que los valores de NO₂ son superiores en todas las ciudades los días con

advección frente a los días sin advección (a excepción de Sevilla), si bien solo en 4 de estas ciudades la diferencia tiene significación estadística. Para el caso del ozono, en todas las ciudades los valores en los días con advección son superiores, con significación estadística a los días sin advección. Lo mismo puede decirse para los valores de T_{max} y de T_{min} (excepto en Las Palmas).

Figura 2. Concentraciones medias diarias (µg/m³) de PM₁₀, NO₂ y O₃ y temperaturas máximas y mínimas diarias (°C), para las diferentes ciudades los días con advección (negro) y sin advección (rojo) de polvo del Sahara



Los resultados de la modelización Poisson en relación a la incidencia de los días con advección de polvo del Sahara y sin advección, muestra un comportamiento claramente diferenciado en uno y otro caso, como puede apreciarse en la tabla 3. En relación al número de partos prematuros, las PM₁₀ aparecen significativas en las provincias de Málaga y Valencia en los retardos 5 y 2 respectivamente, mientras que los valores altos de O₃ lo hacen en las provincias de A Coruña y Las Palmas en retardos 7 y 1 respectivamente. El calor aparece únicamente significativo en el retardo 3 en Las Palmas. El efecto de las PM₁₀ sobre el número de partos prematuros únicamente aparece significativo en la provincia de

Málaga en el retardo 3, mientras que el calor lo hace en dos ocasiones en las ciudades de Madrid y Sevilla con efectos a corto plazo, retardos 2 y 0 respectivamente. El NO₂ únicamente se relacionan con prematuridad en las Palmas en el retardo cero. Por último, y en relación al número de partos con bajo peso al nacer, el efecto de las PM₁₀ aparece en las provincias de Málaga, Sevilla y Palma de Mallorca con efectos a corto plazo (retardos 0-3), mientras que el del O₃ aparece en las provincias de A Coruña y Sevilla. Desde un punto de vista cuantitativo, los RA son más elevados para el caso del O₃, seguidos de los correspondientes al efecto de las altas temperaturas (T_{umbral_calor}) y por último los asociados a PM₁₀.

Tabla 3. Variables significativas en los modelos de regresión Poisson para número de partos totales, partos prematuros y bajo peso al nacer para días con y sin advección de polvo del Sahara según regiones y capitales de provincia. RR: Riesgo relativo; AR: Riesgo atribuible (%)

| Región | Ciudad | Días CON Advección de Polvo Sahariano | | | Días SIN Advección de Polvo Sahariano | | |
|------------------|----------------|---|--|--|--|--|--|
| | | Partos Totales | Partos Prematuros | Bajo Peso | Partos Totales | Partos Prematuros | Bajo Peso |
| North | Bilbao | | | | Tumbral_frio (7) RR: 1,25 (1,03 - 1,52) AR: 20,1 (3,2 - 34,0) | NO₂ (2) RR: 1,05 (1,01 - 1,09) AR:4,9 (1,1 - 8,5) | PM₁₀ (0) RR: 1,04 (1,00 - 1,08) AR: 3,5 (0,06 - 6,8) O₃umbral(1) RR: 1,08 (1,00 - 1,16) AR: 7,1 (0,3 - 13,4) |
| North-West | A Coruña | O₃umbral (7) RR: 1,28 (1,06 - 1,55) AR:22,0 (5,9 - 35,4) | | O₃umbral (6) RR: 1,65 (1,01 - 2,72) AR: 39,5 (0,6 - 63,20) | Tumbral_frio (12) RR: 1,15 (1,04 - 1,27) AR:13,0 (3,8 - 21,4) | Tumbral_frio (12) RR: 1,42 (1,04 - 1,92) AR: 29,4 (4,3 - 47,9) | Tumbral_frio (12) RR: 1,51 (1,14 - 1,99) AR : 33,6 (12,2 - 49,8) O₃umbral (8) RR: 1,22 (1,03 - 1,44) AR: 17,7 (2,8 - 30,4) |
| Centre | Madrid | | Tumbral_calor (2) RR: 1,06 (1,02 - 1,11) AR: 5,89 (2,0 - 9,6) | | | PM₁₀ (0) RR: 1,03 (1,00 - 1,05) AR: 2,7 (0,4 - 5,00) | |
| South-East | Málaga | PM₁₀ (5) RR: 1,01 (1,00 - 1,01) AR: 0,7 (0,1 - 1,4) | PM₁₀ (3) RR: 1,02 (1,00 - 1,04) AR: 2,2 (0,30 - 4,1) | PM₁₀ (3) RR: 1,03 (1,02 - 1,05) AR: 3,4 (1,6 - 5,1) | Tumbral_frio (7) RR: 1,06 (1,01 - 1,10) AR: 5,3 (0,7 - 9,8) | Tumbral_frio (0) RR: 1,16 (1,01 - 1,32) AR:13,4(1,05 - 24,2) | |
| South-west | Sevilla | | Tumbral_calor (0) RR: 1,19 (1,07 - 1,32) RA: 16,0 (6,6 - 24,4) | PM₁₀ (1) RR: 1,05 (1,02 - 1,07) AR: 4,4 (2,0 - 6,8) O₃umbral (2) RR: 1,12 (1,02 - 1,23) AR: 10,8 (2,0 - 18,7) | | Tumbral_calor (1) RR: 1,50 (1,09 - 2,06) RA: 33,3 (8,4 - 51,4) Tumbral_frio (4) RR: 1,14 (1,04 - 1,26) AR: 12,6 (3,5 - 20,8) PM₁₀ (1) RR: 1,03 (1,01 - 1,05) AR: 3,3 (1,3 - 5,2) | Tumbral_calor (1) RR: 1,63 (1,19 - 2,23) RA: 38,6 (15,8 - 55,2) Tumbral_frio (5) RR: 1,22 (1,11 - 1,34) AR: 18,1 (10,0 - 25,4) PM₁₀ (1) RR: 1,03 (1,01 - 1,05) AR: 2,8 (0,7 - 4,8) |
| East | Valencia | PM₁₀ (2) RR: 1,02 (1,00 - 1,05) AR: 2,3 (0,2 - 4,4) | | Tumbral_calor (2) RR: 1,19 (1,02 - 1,40) AR: 16,3 (1,7 - 28,6) | Tumbral_frio (8) RR: 1,08 (1,01 - 1,15) AR : 7,3 (1,4 - 12,8) NO₂ (0) RR: 1,01 (1,00 - 1,01) AR:0,8 (0,4 - 1,3) O₃h(2) RR: 1,19(1,04 - 1,36) AR: 16,1 (4,0 - 26,7) | Tumbral_calor (0) RR: 1,15 (1,04 - 1,27) AR: 12,8(3,6 - 21,1) | Tumbral_calor (1) RR: 1,11 (1,02 - 1,20) AR: 9,6 (1,6 - 17,0) Tumbral_frio (10) RR: 1,33 (1,14 - 1,55) AR: 24,8 (12,1 - 35,6) O₃umbral (2) RR: 1,60 (1,07 - 2,40) AR: 37,6 (6,40 - 58,4) |
| Canary Islands | Las Palmas | Tumbral_calor (3) RR: 1,06 (1,02 - 1,11) AR: 6,0 (1,8 - 10,0) O₃umbral (1) RR: 1,12 (1,04 - 1,21) AR: 10,7 (3,4 - 17,5) | NO₂ (0) RR: 1,16(1,06 - 1,27) AR:13,7 (5,7 - 21,1) | | O₃umbral (8) RR: 1,05 (1,00 - 1,10) AR: 4,8 (0,6 - 8,9) | NO₂ (1) RR: 1,06 (1,01 - 1,12) AR: 5,9 (1,0 - 10,5) | Tumbral_calor (1) RR: 1,16 (1,00 - 1,36) RA: 14,2 (0,0 - 26,4) |
| Balearic Islands | Palma Mallorca | Tumbral_frio (6) RR: 1,28(1,06 - 1,55) AR : 22,0 (5,8 - 35,4) | | Tumbral_frio (8) RR: 1,32(1,03 - 1,68) AR : 24,2 (3,1 - 40,7) PM₁₀ (0) RR: 1,06 (1,03 - 1,10) AR: 5,9 (2,8 - 9,0) | Tumbral_calor (1) RR: 1,32 (1,01 - 1,72) RA: 24,1 (1,1 - 41,7) PM₁₀ (0) RR: 1,02 (1,00 - 1,04) AR: 2,1 (0,4 - 3,7) NO₂ (4) RR: 1,01 (1,00 - 1,02) AR: 1,2 (0,4 - 2,0) | | |

DISCUSIÓN

El principal resultado de este artículo es que las variables relacionadas con el embarazo que se han analizado se ven influenciadas por la existencia de intrusión de polvo del Sahara. El impacto de otros contaminantes atmosféricos generalmente no considerados en este tipo de estudios, como el ozono o los niveles de NO_2 , así como la existencia de olas de calor tiene una incidencia al menos del mismo orden que la de las PM_{10} . Según los resultados de la figura 2, en la que se observa que los valores de PM_{10} son significativamente superiores los días con intrusión de polvo del Sahara frente a aquellos en los que no la hay, vienen a resaltar el hecho de que las advecciones de polvo del Sahara contribuyen a aumentar de forma significativa los niveles de PM_{10} de la cuenca Mediterránea²⁵, lo que hace que los niveles de este contaminante suban de manera importante incluso en las estaciones urbanas de medida de la contaminación atmosférica²⁶. Pero los días con intrusión de polvo del Sahara no solo se produce un incremento significativo de las concentraciones de PM_{10} , sino también de NO_2 en algunas ciudades como Zaragoza, Madrid, Bilbao o Las Palmas con diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados son coincidentes con los encontrados en otros estudios en los que se analiza la evolución de los contaminantes primarios en días con y sin intrusión de polvo del Sahara en las ciudades de Barcelona¹¹ y Madrid²⁶. El motivo de este incremento, según estas investigaciones, sería que la existencia de material particulado en los días con intrusión de polvo del Sahara produciría un descenso de la radiación solar incidente y haría que disminuyesen los procesos turbulentos convectivos que producen el desarrollo vertical de la capa de mezcla durante el día, por lo que su espesor disminuiría y la concentración de contaminantes aumentaría²⁷.

Un incremento más claro que el observado para el NO_2 en los días con intrusión de polvo del Sahara frente a los de no intrusión, se aprecia para el caso del ozono troposférico especialmente en las ciudades con mayor insolación como es el caso de Sevilla, Málaga, Madrid y Zaragoza. En el estudio realizado en la ciudad de Madrid por Salvador *et al.*²⁶ no se analizó este contaminante y en el de Barcelona¹¹ no se observó un aumento del ozono. Si bien es cierto que una reducción de la radiación solar incidente producida por las partículas en suspensión irían en detrimento de la formación de ozono²⁸, hay que considerar que las condiciones meteorológicas a escala sinóptica que favorecen la entrada de polvo de origen sahariano suelen darse en los meses de verano en los que los valores de ozono troposférico son máximos y más elevados en general que los días sin intrusión de polvo del Sahara que suelen ser en los meses de invierno¹⁰. Este hecho se ve reforzado porque las temperaturas máximas diarias y mínimas diarias, son más elevadas en los días con intrusión de polvo del Sahara que los días

sin intrusión, como se puede observar en la figura 2. De los resultados expuestos hasta ahora queda claro que un análisis del impacto sobre la salud de los días de intrusión de polvo del Sahara no puede ceñirse exclusivamente al incremento en las concentraciones de material particulado o al posible efecto sinérgico de estas con las altas temperaturas²⁹.

En relación a las variables relacionadas con el embarazo son prácticamente inexistentes los estudios que analizan estas variables con los días de intrusión de polvo sahariano. En uno de ellos realizado en la ciudad de Barcelona¹⁷ se concluye que no se observa un efecto estadísticamente significativo entre los episodios de polvo del Sahara y complicaciones en el embarazo o en el parto. En el otro realizado en Guadalupe, territorio francés de ultramar¹⁸, parece que sí se observa un efecto de las PM_{10} sobre los partos prematuros. Los resultados encontrados en este estudio indican que, aunque no de forma generalizada, sí existen ciudades en las que las variables estudiadas aparecen influenciadas por las concentraciones de PM_{10} , como por los niveles altos de ozono y las olas de calor, resultando estas variables factores de riesgo especialmente en días con intrusión de polvo del Sahara.

Desde un punto de vista biológico, las PM_{10} interfieren principalmente a través del sistema respiratorio³⁰. Estas partículas al ser inhaladas cruzan la barrera alveolar, se incorporan al torrente sanguíneo y provocan estrés oxidativo³¹, proinflamatorio³² y protrombótico³³, esto produce hipertensión gestacional³⁴ e hipoperfusión placentaria, lo cual altera las funciones de la placenta y serían la causas de la prematuridad y el bajo peso al nacer³⁵. En el caso del NO_2 el mecanismo es menos conocido pero también estaría relacionado con el estrés oxidativo antes descrito³⁵. En el caso de las altas concentraciones de O_3 la asociación con las variables adversas al nacimiento puede relacionarse con la disminución del calibre de las arterias que provoca³⁶, lo que causaría un incremento de la tensión arterial en la madre, siguiéndose un proceso similar al de las PM. En el caso del calor, este actúa como un potente estresante en mujeres embarazadas incidiendo claramente en las variables adversas al nacimiento^{37,38}.

Los retardos en los que establecen las asociaciones son coherentes con los mecanismos biológicos implicados y antes descritos e indicarían un efecto a corto plazo de PM_{10} , NO_2 y $T_{\text{umbral calor}}$, seguido de un proceso más dilatado en el tiempo para el caso del ozono. Esto concuerda con el comportamiento de estos factores ambientales con otros indicadores de salud como la mortalidad diaria²².

Desde un punto de vista cuantitativo, los riesgos atribuibles relacionados con las PM_{10} y NO_2 , son ligeramente inferiores a los obtenidos en estudios que analizan la incidencia de estas variables a nivel

de toda España^{15,16}, lo cual iría en contra del efecto sinérgico descrito en otros estudios entre PM_{10} y altas temperaturas²⁹. Esto no quiere decir que los casos atribuibles sean menores en estos días de advección de polvo del Sahara ya que las concentraciones de PM_{10} que se miden son mayores y, por tanto, el impacto en el número de casos puede ser superior al de un día sin advección. Por otro lado, los valores de los RR y RA de $T_{\text{umbral_calor}}$ son similares a los encontrados en otros estudios³⁹ en los que se analiza el efecto de estas variables a lo largo del año. En relación a los altos RA de las altas concentraciones de O_3 se explica por el pequeño número de casos existentes durante los episodios de O_{3_umbral} lo que hace que el intervalo de confianza sea muy amplio.

Entre las limitaciones del estudio están las inherentes a un estudio ecológico longitudinal que impiden extrapolar los resultados a nivel individual. Por otro lado se han utilizado datos promediados de varias estaciones, por lo tanto, estas medidas no representan una exposición individual. Otro sesgo puede encontrarse en la heterogeneidad de las estaciones de medida de la contaminación, ya que aunque la mayoría son estaciones urbanas también existen algunas de fondo. No obstante, la metodología aplicada es común en este tipo de estudios y estos sesgos quedan minimizados al incluir en los modelos variables de control tales como tendencia, estacionalidades y factor autorregresivo de la serie. Los resultados de este estudio indican que los días con aporte natural de material particulado por advección de polvo del Sahara constituyen un especial riesgo para las mujeres embarazadas. No solo por el aumento del material particulado, sino también por la existencia de otros factores asociados a estas intrusiones como son las concentraciones elevadas de O_3 , las altas temperaturas, y en el caso de las intrusiones de polvo del Sahara el aumento de otros contaminantes primarios como consecuencia de la disminución de la capa de mezcla.

Deben realizarse recomendaciones en salud pública en concordancia con los hallazgos aquí encontrados, en especial en los lugares en los que se ha encontrado un mayor impacto que, en general, corresponden al tercio sur peninsular. Estas recomendaciones irían en el sentido de, por un lado, reducir las emisiones de los contaminantes de origen antrópico con el objetivo de que con la llegada de los aportes de origen natural no se superen los valores de protección a la salud establecidos y, por otro lado, deberían emitirse avisos dirigidos a la población de riesgo (mujeres embarazadas) para que limiten su exposición a estos contaminantes en la medida de lo posible, reduciendo las salidas al exterior y no realizando ejercicios al aire libre. También sería aconsejable el aviso a los hospitales ante un posible aumento del número de partos.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz J, Linares C, Carmona R, Russo A, Ortiz C, Salvador P, Trigo RM. Saharan dust intrusions in Spain: health impacts and associated synoptic conditions. *Environ Res* 2017; 156: 455-467.
- Viana M, Pey J, Querol X, Alastuey A, de Leeuw F, Lükewille A. Natural sources of atmospheric aerosols influencing air quality across Europe. *Sci Total Environ*. 2014; 72:825-833.
- Pérez L, Tobías A, Querol X, Pey J, Alastuey A, Díaz J, Sunyer J. Saharan dust, particulate matter and cause specific mortality: A Case-Crossover study in Barcelona (Spain). *Environ Int*. 2012; 48:150-155.
- Jiménez E, Linares C, Martínez D, Díaz J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2010; 408:5729-5736.
- Reyes M, Díaz J, Tobías A, Montero JC, Linares C. Impact of Saharan dust particles on hospital admissions in Madrid. *Int J Environ Health Res*. 2014; 24:63-72.
- López-Villarrubia E, Íñiguez C, Peral N, García MD, Ballester F. Characterizing mortality effects of particulate matter size fractions in the two capitalcities of the Canary Islands. *Environ Res*. 2012; 112:129-138.
- Tobías A, Caylá JA, Pey J, Alastuey A, Querol X. Are Saharan dust intrusions increasing the risk of Meningococcal meningitis? *Int J Infect Dis*. 2011a; 15, e503.
- Díaz J, Tobías A, Linares C. Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality in Madrid (Spain). *Environ Health*. 2012; 11:11.
- Stafoggia M, Zauli-Sajani S, Pey J, Samoli E, Alessandrini E, Basagaña X et al. Desert dust outbreaks in Southern Europe: contribution to daily PM_{10} concentrations and short-term associations with mortality and hospital admissions. *Environ Health Perspect*. 2016; 124(4): 413-419.
- Tobías A, Pérez L, Díaz J, Linares C, Pey J, Alastuey A, Querol X. Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A Case-Crossover analysis in Madrid (Spain). *Sci Total Environ*. 2011b; 412-413:386-389.
- Pandolfi M, Tobias A, Alastuey A, Sunyer J, Schwartz J, Lorente J, Pey J, Querol X. Effect of atmospheric mixing layer depth variations on urban air quality and daily mortality during Saharan dust outbreaks. *Sci Total Environ*. 2014 Oct 1; 494-495:283-9.
- Salvador P, Molero F, Fernández AJ, Tobías A, Pandolfi M et al. Synergistic effect of the occurrence of African dust outbreaks on atmospheric pollutant levels in the Madrid metropolitan area. *Atmos Res*. 2019; 226:208-218.
- Jaffe DA, Wigder N, Downey N, Pfister G, Boynard A, Reid SB. Impact of wildfires on ozone exceptional events in the western U.S. *Environ Sci Technol*. 2013; 47(19): 11065-11072.
- Dibben C, Clemens T. Place of work and residential exposure to ambient air pollution and birth outcomes in Scotland, using geographically fine pollution climate mapping estimates. *Environ Res*. 2015; 140: 535-541.
- Arroyo V, Linares C, Díaz J. Premature Births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time Series Analysis. *Sci Tot Environ*. 2019a; 660:105-114.

16. Arroyo V, Díaz J, Salvador P, Linares C. Impact of Air Pollution on Low Birth Weight in Spain: A National Level Study. *Environ Res.* 2019b; 171:69-79.
17. Dadvand P, Basagaña X, Figueras F, Amoly E, Tobias A, de Nazelle A, Querol X et al. Saharan dust episodes and pregnancy. *J Environ Monit.* 2011 Nov; 13(11):3222-8.
18. Viel JF, Mallet Y, Raghoumandan C, Quénel P, Kadhel P, Rouget F, Multigner L. Impact of Saharan dust episodes on preterm births in Guadeloupe (French West Indies). *Occup Environ Med.* 2019 May; 76(5):336-340.
19. MITECO. Ministerio para la Transición Ecológica 2019. [citado el 9 de noviembre de 2011]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/>.
20. Commission Staff Working Paper. Establishing Guidelines for Demonstration and Subtraction of Exceedances Attributable to Natural Sources under the Directive 2008/50/EC on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe, Brussels, 15.02. 2011. SEC(2011) 208 final, p.37. [citado el 9 de noviembre de 2011]. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/sec_2011_0208.pdf.
21. Díaz J, Ortiz C, Falcón I, Linares C. Short-term effect of tropospheric ozone on daily mortality in Spain. *Atm Environ* 2018; 187:107-116.
22. Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, Ortiz C, León I, Linares C. Geographical variation in relative risks associated with heat: update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ Int.* 2015; 85:273-283.
23. Carmona R, Díaz J, Mirón IJ, Ortiz C, León I, Linares C. Geographical variation in relative risks associated with cold waves in Spain: The need for a cold wave prevention plan. *Environ Int.* 2016; 88:103-111.
24. Coste J, Spira A. Le proportion de cas attribuable en Santé Publique: definition(s), estimation(s) et interpretation. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 1991; 51, 399-411.
25. Querol X, Alastuey A, Pey J, Pandolfi M, Cusack M, Pérez N et al. African dust contributions to mean ambient PM10 mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmos Environ.* 2009; 43(28):4266-4277.
26. Salvador P, Artíñano B, Molero F, Viana M, Pey J, Alastuey A et al. African dust contribution to ambient aerosol levels across central Spain: characterization of long-range transport episodes of desert dust. *Atmos. Res.* 2013; 127:117-129.
27. Li Z, Guo J, Ding A, Liao H, Liu J, Sun Y et al. Aerosol and boundary-layer interactions and impact on air quality. *Nat SciRev.* 2017; 4(6): 810-833.
28. Krupa SV and Manning WJ. Atmospheric ozone: Formation and effects on vegetation. *Env Pol.* 1988; 50:101-137.
29. De Sario M, Katsouyanni K, Michelozzi P. Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *Eur Respir J.* 2013; 42(3):826-843.
30. Morakinyo OM, Mokgobu M., Mukhola MS. Health outcomes of exposure to biological and chemical components of inhalable and respirable particulate matter. *Int J Environ Res Public Health.* 2016; 1:1-22.
31. Jauniaux E, Burton GJ. The role of oxidative stress in placental-related diseases of pregnancy. *J Gynecol Obstet Biol Reprod.* 2016; 45 (8): 775-785.
32. Møller P, Danielsen PH, Karotki DG et al. Oxidative stress and inflammation generated DNA damage by exposure to air pollution particles. *Mutat Res Rev Mutat Res.* 2014; 762: 133-166.
33. Martinelli N, Olivieri O, Girelli D. Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review. *Eur J Intern Med.* 2013; 24(4):295-302.
34. Erickson AC, Arbour L, 2014. The shared pathoetiological effects of particulate air pollution and the social environment on fetal-placental development. *J Environ Public Health.* 2014; 901017.
35. Clemente DBP, Casas M, Vilahur N, et al. Prenatal ambient air pollution, placental mitochondrial DNA content, and birth weight in the INMA (Spain) and ENVIRONAGE (Belgium) birth cohorts. *Environ Health Perspect.* 2016; 124 (5): 659-665.
36. Park SK, O'Neill MS, Vokonas PS, Sparrow D, Schwartz J. Effects of air pollution on heart rate variability: the VA normative aging study. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(3): 304-309.
37. Basu R, Malig B, Ostro B. High ambient temperature and the risk of pre-term delivery. *Am J Epidemiol.* 2010; 172:1108-1117.
38. Carolan-Olah M, Frankowska D. High environmental temperature and preterm birth: are view of the evidence. *Midwifery.* 2014; 30(1):50-59.
39. Arroyo V, Díaz J, Ortiz C, Carmona R, Sáez M, Linares C. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). *Environ Res.* 2016; 145:162-168.