

Estimación de la mortalidad potencialmente atribuible a las quemas agrícolas en Tucumán (Argentina) mediante el uso de la herramienta AirQ+

Estimativa da mortalidade potencialmente atribuível aos incêndios agrícolas em Tucumán (Argentina) através da ferramenta AirQ+

Estimation of mortality potentially attributable to agricultural burning in Tucumán (Argentina) using the AirQ+ tool

Susana I. García¹, Jorge Zavatti^{1,2}, María Marta Sáez³, Rodrigo Gastón Gibilisco³, Aída Ben Altabef³, Mariano Teruel⁴

¹ Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental (SIBSA).

² Universidad Metropolitana para la Educación y el Trabajo (UMET).

³ Laboratorio de Estudios Atmosféricos (INQUINOA CONICET, UNT).

⁴ Instituto de Investigaciones en Físico-Química de Córdoba (INFIQC CONICET, UNC).

Cita: García SI, Zavatti JR, Sáez MM, Gibilisco RG, Ben Altabef A, Teruel M. Estimación de la mortalidad potencialmente atribuible a las quemas agrícolas en Tucumán (Argentina) mediante el uso de la herramienta AirQ+. Rev. Salud ambient. 2025; 25(1):76-88.

Recibido: 9 de febrero de 2025. **Aceptado:** 7 de mayo de 2025. **Publicado:** 15 de junio de 2025.

Autor para correspondencia: Susana I. García, Rodrigo Gastón Gibilisco.
Correo e: susanaigarciaaw@gmail.com, rgibilisco@fcq.unc.edu.ar

Financiación: García SI, Zavatti JR, Sáez MM, Ben Altabef A y Teruel M declaran no recibir financiación de ninguna entidad. Gibilisco RG declara recibir apoyo financiero y muestra agradecimiento a las siguientes entidades:

- Fundación Alexander von Humboldt por el apoyo a la Iniciativa Breathe2change.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación por el proyecto Impactar Ciencia. Desafío 134.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán.
- Instituto de Atmósfera e Investigación Ambiental de la Universidad de Wuppertal, Alemania.
- Instituto de Combustión Aerotérmica y Reactividad de la Atmósfera del CNRS, Orléans, Francia.
- Departamento de Ingeniería Civil, Química y Ambiental de la Universidad de Génova, Italia.
- Universidad Técnica de Darmstadt, Alemania.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran no poseer conflicto de intereses.

Declaraciones de autoría: García SI: coordinación general del equipo de autores, búsqueda de bibliografía para la discusión de resultados, redacción. Zavatti JR: compilación de datos del monitoreo de las mediciones en aire ambiente de PM_{2,5}, búsqueda de datos epidemiológicos de las comunidades de la provincia de Tucumán, y aplicación de dichos valores a la herramienta de estimación de mortalidad atribuible AirQ+. Sáez MM: compilación de datos de monitoreo de PM_{2,5}. Gibilisco RG: diseño y desarrollo de proyecto, metodología, monitoreo y mediciones experimentales. Ben Altabef A: Supervisión de las tareas realizadas en el Laboratorio de Estudios Atmosféricos. Teruel M: supervisión, validación de resultados, dirección y administración del proyecto.

Resumen

En la provincia de Tucumán, Argentina, las prácticas de quema de biomasa agrícola asociada principalmente al cultivo de la caña de azúcar, impactan en la calidad del aire exponiendo a aproximadamente 1,1 millones de habitantes a concentraciones de PM_{2,5} que superan los 40 µg/m³ como media mensual en invierno. En dicha estación del año se registra la mayor cantidad de focos de incendios en la provincia, acompañados también por un marcado incremento de la actividad industrial. Utilizando la herramienta AirQ+ de la OMS y en base a una concentración media anual de 19,4 µg/m³ de PM_{2,5} (promedio de 9 sitios de monitoreo continuo de PM_{2,5} durante el año 2023 en la provincia de Tucumán), se estimó que de los 8 463 fallecimientos/año por causas no accidentales (CNA) ocurridos en el año 2022), 888 (IC95: 681-988) fatalidades/año podrían atribuirse a la alta exposición de PM_{2,5} durante el invierno. Sin considerar el período donde se registra la mayor cantidad de casos de quemas agrícolas, la media anual para PM_{2,5} se estimó en 10,8 µg/m³. Con este otro valor, AirQ+ calcula que la mortalidad atribuible a PM_{2,5} descendería a 369 (IC95: 281-413) fatalidades/año. De este estudio preliminar, podría considerarse que, de tomarse medidas más estrictas para erradicar las prácticas

de quemas agrícolas a cielo abierto, se evitarían 519 fatalidades/año, aproximadamente un 6 % de los fallecimientos ocurridos en 2022 en la referida provincia argentina.

Palabras clave: quema de caña de azúcar; material particulado en aire; AirQ+

Resumo

Na província de Tucumán, na Argentina, as práticas de queima de biomassa agrícola associadas principalmente ao cultivo da cana-de-açúcar impactam a qualidade do ar ao expor aproximadamente 1,1 milhões de habitantes a concentrações de PM_{2,5} superiores a 40 µg/m³ em média mensal no inverno. Esta é a altura do ano em que se regista o maior número de focos de incêndio na província, acompanhado também por um aumento acentuado da actividade industrial. Utilizando a ferramenta AirQ+ da OMS e com base numa concentração média anual de PM_{2,5} de 19,4 µg/m³ (média de 9 locais de monitorização contínua de PM_{2,5} durante 2023 na província de Tucumán), estimou-se que das 8.463 mortes/ano por causas não acidentais (CNA) ocorridas em 2022, 888 (IC 95 %: 681-988) mortes/ano poderiam ser atribuídas à elevada exposição a PM_{2,5} durante o inverno. Excluindo o período com maior número de incêndios agrícolas, a média anual de PM_{2,5} foi estimada em 10,8 µg/m³. Com este outro valor, o AirQ+ calcula que a mortalidade atribuível ao PM_{2,5} seria reduzida para 369 (IC 95 %: 281-413) óbitos/ano. Com base neste estudo preliminar, pode considerar-se que, se fossem tomadas medidas mais rigorosas para erradicar as práticas de queimadas agrícolas a céu aberto, seriam evitadas 519 mortes/ano, aproximadamente 6 % das mortes ocorridas em 2022 na referida província argentina.

Palavras-chave: queima da cana-de-açúcar; matéria particulada suspensa no ar; AirQ+

Abstract

In the province of Tucumán, Argentina, agricultural biomass burning practices associated mainly with sugarcane cultivation impact air quality by exposing approximately 1.1 million inhabitants to PM_{2,5} concentrations exceeding 40 µg/m³ on a monthly average in winter. This season is the time of year when the highest number of fire outbreaks is recorded in the province, accompanied also by a marked increase in industrial activity. Using the WHO AirQ+ tool and based on an annual mean PM_{2,5} concentration of 19.4 µg/m³ (average of 9 continuous PM_{2,5} monitoring sites during 2023 in the province of Tucumán), it was estimated that of the 8,463 deaths/year from non-accidental causes (NAC) that occurred in 2022, 888 (95 % CI: 681-988) fatalities/year could be attributed to high PM_{2,5} exposure during winter. Without considering the period where the highest number of agricultural burning cases are recorded, the annual mean for PM_{2,5} was estimated at 10.8 µg/m³. With this other value, AirQ+ calculates that mortality attributable to PM_{2,5} would drop to 369 (95 % CI: 281-413) fatalities/year. From this preliminary study, it could be considered that, if stricter measures were taken to eradicate open-air agricultural burning practices, 519 fatalities/year would be avoided, approximately 6 % of the deaths that occurred in 2022 in the aforementioned Argentine province.

Keywords: sugarcane burning; airborne particulate matter; AirQ+

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) señalaba en 2022¹ que el 99 % de la población mundial respira aire que excede los valores guía recomendados en las Directrices Mundiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre calidad de aire, actualizadas en 2021². Esta afirmación surge del análisis de la Base de Datos sobre calidad de aire que la OMS actualiza cada 2 o 3 años desde 2011 y que actualmente alberga datos del monitoreo de contaminantes en 7 182 asentamientos humanos en más de 120 Estados miembros³.

Considerando los efectos adversos a la salud que resultan de la contaminación del aire, entre los que se mencionan enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cerebrovasculares, tanto agudas como crónicas, y el

cáncer, la ONU estima que siete millones de muertes e innumerables años de vida perdidos por discapacidad se pueden atribuir a esta causa, transformándose en el factor de riesgo de enfermedad que ocupa el segundo lugar de importancia⁴.

Asimismo, una publicación del Banco Mundial estima que el costo mundial de los daños a la salud asociados con la exposición a la contaminación del aire fue de 8,1 billones de dólares en 2019, equivalente al 6,1 % del PIB mundial⁵.

La situación es más preocupante en los países de ingresos bajos y medios, donde los habitantes están expuestos a la quema de combustibles fósiles intradomiliaria para cocinar, calentar y alumbrar, sistemas de transporte poco eficientes y con emisiones

mal controladas, quemas agrícolas y quemas de residuos. Entre todas las causas, los incendios son una de las fuentes más alarmantes de contaminación del aire por particulado altamente tóxico y uno de los desafíos más acuciantes en materia de gestión de la salud ambiental.

Las condiciones de vulnerabilidad social y los déficits en el acceso al sistema de salud agravan la situación de los países menos desarrollados, donde además, las mediciones de calidad de aire son menos frecuentes y más precarias, lo que dificulta la evaluación del problema y la toma de decisiones para acciones efectivas.

La OMS, además de alentar a los países a incrementar las redes de monitoreo de calidad de aire, también ha desarrollado, a través de su Oficina Regional para Europa, una herramienta informática gratuita en línea que permite aprovechar estos datos provenientes del monitoreo ambiental para estimar la carga de morbilidad y mortalidad atribuible a la exposición a los contaminantes del aire, tanto a corto plazo como a largo plazo, incluido el cáncer, denominada AirQ+⁶.

AirQ+ calcula la carga de enfermedad o el impacto en la salud resultante de la exposición a los contaminantes cuando se exceden los valores guía recomendados por las Directrices de Calidad del Aire (DCA) de la OMS 2021, y arroja resultados en términos de muertes o casos que se hubieran evitado si se siguieran las recomendaciones de las DCA. Esto es así, porque las DCA provienen de evaluaciones expertas basadas en una amplia evidencia científica sobre impactos en la salud de 6 contaminantes atmosféricos (PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ y CO), considerando los riesgos relativos para las causas de enfermedad atribuibles.

El material particulado de la fracción PM_{2,5}, es decir, partículas que tienen un diámetro aerodinámico de 2,5 µm o menor, reviste particular interés no solo por los efectos deletéreos sobre la salud sino porque tiene un alto coeficiente de penetración desde el aire exterior al ambiente intradomiciliario². Existe sólida evidencia científica que muestra relaciones causales entre la exposición a la contaminación del aire por PM_{2,5} y la mortalidad por todas las causas no accidentales, así como infecciones respiratorias, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, enfermedad cardíaca isquémica, cáncer de pulmón y accidente cerebrovascular, y esto ha permitido estimar la carga de enfermedad atribuible globalmente (según la OMS solo para PM_{2,5} y para ozono se han podido calcular).

En este estudio, se utilizó AirQ+ para estimar la carga de enfermedad atribuible a las excedencias evidenciadas en el sistema de monitoreo de PM_{2,5} implementado en la Provincia de Tucumán, Argentina, y que se presumen vinculadas a las quemas agrícolas en los cultivos de caña

azucarera, conocidas como “quema de malhoja”, durante la cosecha o zafra.

Si bien la herramienta AirQ+ admite evaluar el efecto de otros contaminantes del aire como PM₁₀ y O₃ que resultan también de la quema de biomasa, esta red de monitoreo de Tucumán solo colecta datos de concentraciones de PM_{2,5} en aire, y se consideró suficiente para la estimación de mortalidad, por cuanto, explícitamente los manuales de la herramienta AirQ+ señalan que las estimaciones de mortalidad para diferentes contaminantes del aire nunca deben considerarse aditivas, es decir, no se deben sumar. En todo caso se deben considerar estimaciones distintas que podrían promediarse si fuera pertinente. Adicionalmente, las DCA señalan específicamente que los riesgos relativos estimados para cada indicador de calidad de aire (PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, etc.) no contemplan los efectos de las mezclas de contaminantes del aire a las que eventualmente se exponen las personas.

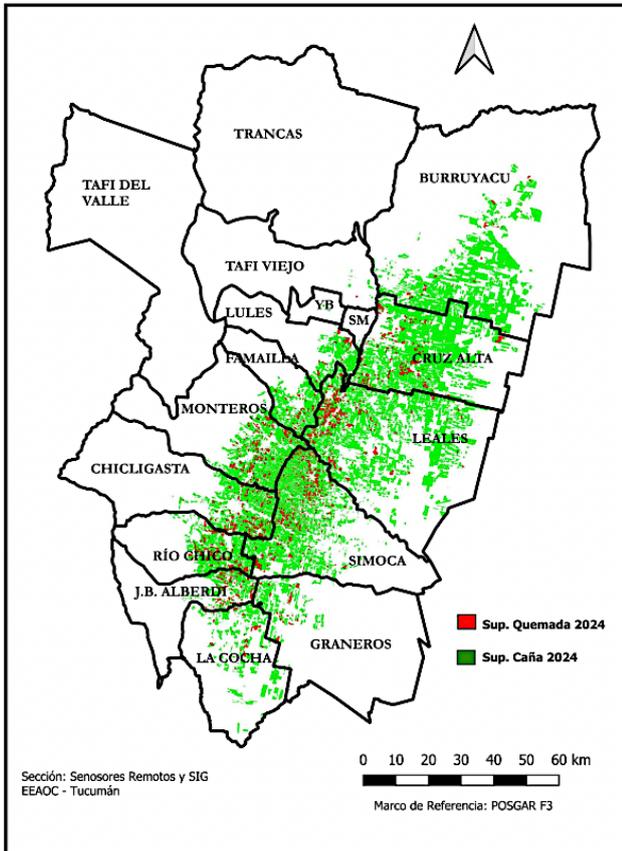
Para Tucumán, el cultivo de caña de azúcar constituye uno de los pilares de su economía, con más de 17 millones de toneladas de molienda, 1,2 millones de toneladas de azúcar y más de 350 mil metros cúbicos de alcohol producidos como resultado de la zafra 2024 en los 14 ingenios tucumanos⁷.

A pesar de la prohibición que pesa sobre la práctica de uso del fuego en el manejo del cultivo de cañaverales en Tucumán^{8,9,10}, la quema se sigue haciendo desde hace más de un siglo, con la afectación de alrededor de 54 mil hectáreas en el año 2024, según estimaciones realizadas por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, del Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán, utilizando imágenes satelitales Sentinel 2A y análisis con Sistemas de Información Geográfica^{11,12}. Las figuras 1 y 2 grafican el área cañera quemada en la Provincia de Tucumán, en hectáreas y por departamento, durante la zafra de 2024.

La quema de las plantaciones de caña de azúcar se realiza con la finalidad de reducir el follaje y acelerar la recolección¹³ de la cosecha. Esta práctica genera una masa significativa de partículas negras que son transportadas por los vientos predominantes del sur, cubriendo grandes extensiones de la provincia, caracterizada por una orografía que presenta llanuras al este y montañas al oeste¹⁴.

Ante esta realidad, la iniciativa Breathe2Change.org¹⁵ promovió la instalación de la primera red de monitoreo de la calidad del aire en tiempo real en la Provincia de Tucumán, con datos de acceso libre, utilizando Módulos Integrados de Sensores Ambientales (MISA) o Air Quality Sensor Modules (NW-AQSM, www.neuerweg.tech). Estos sensores de material particulado utilizan una innovadora tecnología que consta de detectores ópticos con tres

Figura 1. Superficie del área cañera afectada por quema en la Provincia de Tucumán durante la zafra 2024

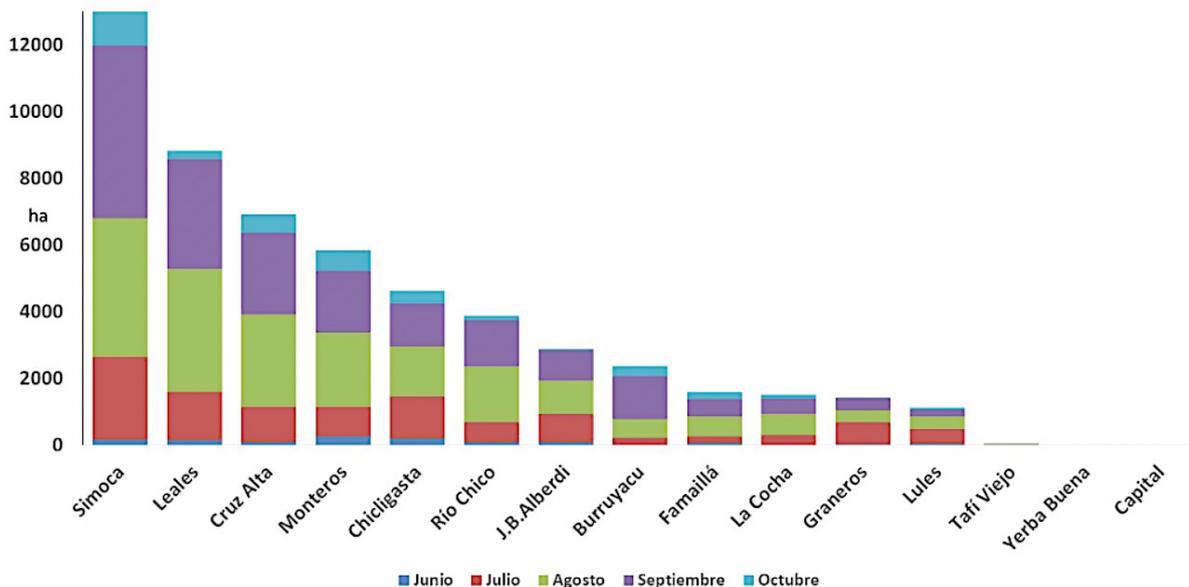


Fuente: EEAOC. Reporte agroindustrial N° 332, enero 2025. Obra citada.

canales de medición por tamaño del material particulado que informa número de partículas de 0,3-1 µm; 1-2,5 µm y 2,5-10 µm cada decilitro de muestra y concentraciones en µg.m⁻³ de PM10, PM2,5 y PM1. También tienen integrados sensores de humedad, temperatura y presión atmosférica, así como un sensor NDIR para determinación de la concentración de CO₂ en el ambiente en el rango de 0-5 000 ppm. Un microprocesador con Wi-Fi, GSM y SD-card integrados permite el almacenamiento y la transmisión en tiempo real o la posterior recolección de datos obtenidos y GPS para la geolocalización. La precisión de los resultados se ajusta mediante el análisis algorítmico de diferentes parámetros meteorológicos. El análisis de los datos se realiza de forma remota para determinar la distribución espacio-temporal de contaminantes y su relación con la meteorología. También se analiza la composición de los aerosoles por medidas de absorbancia, utilizando el visualizador de productos Aerosol Optical Depth (AOD), del satélite Sentinel-5 Precursor del Programa Copernicus. Los MISAs pasaron por un primer paso de intercomparación con monitores de referencia federal (FRMs) en el Instituto de Investigación en Atmósfera de Wuppertal, Alemania, y un segundo paso de intracomparación en el Laboratorio de Estudios Atmosféricos, de la Universidad de Tucumán (INQUINOA CONICET, UNT)¹⁶⁻¹⁹.

La tabla 1 muestra la localización de los sensores, con coordenadas geográficas, localidad, departamento y población del departamento.

Figura 2. Área cañera quemada (en hectáreas) por departamento de la Provincia de Tucumán, evaluada desde junio a noviembre de 2024



Fuente: EEAOC. Reporte agroindustrial N° 332. Enero 2025. Obra citada.

Tabla 1. Localización de los equipos de monitoreo. Tucumán 2023

Latitud*	Longitud*	Localidad	Departamento
-27,8337826	-65,1961436	Taco Ralo	Graneros
-27,5812920	-65,6229774	Juan Bautista Alberdi	Juan Bautista Alberdi
-27,4395255	-65,6156463	Río Chico	Río Chico
-27,2186324	-65,5280698	Villa Quinteros	Monteros
-27,1669623	-65,4961173	Monteros	Monteros
-27,1369140	-65,2612649	Villa de Leales	Leales
-26,9939065	-65,2211424	Santa Rosa de Leales	Leales
-26,9224272	-65,3386756	San Isidro de Lules	Lules
-26,8886795	-65,0066223	Los Ralos	Cruz Alta
-26,8573182	-65,6755334	Tafi del Valle	Tafi del Valle
-26,456745	-65,9837036	Colalao del Valle	Tafí del Valle
-26,8337941	-65,2047711	San Miguel de Tucuman	Capital
-26,812379	-65,2983787	Yerba Buena	Yerba Buena
-26,7802778	-65,2336111	Tafi Viejo	Tafi Viejo
-26,7601181	-65,0698631	El Chañar	Burruyacú
-26,2329	-65,49325	San Pedro de Colalao	Trancas

* Latitud y longitud expresadas en grados centesimales.

Fuente: Breathe2Change.

A partir de los datos obtenidos de concentración en aire de PM_{2,5} en distintas localidades de la Provincia de Tucumán, utilizando la herramienta AirQ+, de OMS²⁰, en este trabajo se realizó una evaluación del impacto en salud estimando la mortalidad atribuible e intentando responder a la pregunta: ¿Cuál sería el cambio en la mortalidad, si la contaminación por material particulado (PM_{2,5}), atribuible a la quema de caña de azúcar, se eliminara o disminuyera?

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó el software AirQ+ desarrollado por la Oficina Regional para Europa, de la OMS, en su versión 2.2.4. en español, instalada en una computadora portátil con macOS Sequoia 15.1.1. Se siguieron las instrucciones del manual de introducción a AirQ+ (ya citado) y el manual de entrada de datos de múltiples áreas en AirQ+²¹.

En la herramienta AirQ+ se seleccionaron como parámetros para analizar: a) aire ambiente; b) efectos a largo plazo; c) la mortalidad como desenlace sobre la salud, utilizando el módulo que permite cuantificar la mortalidad en relación con el logro de objetivos específicos sobre la contaminación del aire, en este caso la reducción en los niveles de contaminación; d) como contaminante a evaluar, la concentración de material particulado PM_{2,5} y e) como tipo de evaluación, la "evaluación de impacto".

Los datos de mediciones PM_{2,5} se obtuvieron de la base de datos de la red de monitoreo de Breathe2Change.org como medias mensuales del año 2023 calculadas a partir de promedios horarios (en base a una frecuencia de comunicación de datos cada 5 minutos) (ver tabla 2). En base a estos datos se calcularon: media anual, media de los meses de zafra (mayo a septiembre) y media de los meses sin zafra (enero a abril y octubre a diciembre) para las localidades con cultivos de caña de azúcar, excluyendo las localidades con datos incompletos o inconsistentes.

Para seleccionar los meses con exposición de la población al humo durante la zafra y comparar las concentraciones de PM_{2,5} resultantes frente a las concentraciones de los meses sin exposición, se revisaron los Reportes Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, que señalan que la zafra en la provincia de Tucumán se extiende desde fines de abril hasta diciembre, según los años y las condiciones meteorológicas, con cuatro períodos definidos: inicial (mayo y junio), intermedio (julio a mediados de septiembre), final (mediados de setiembre a mediados de octubre) y tardío, desde mediados de octubre en adelante. Según datos de 2022, del total cosechado, aproximadamente el 34 % fue recolectado en el período inicial, el 57 % en el período intermedio, mientras que el 9 % restante fue cosechado en el período final²².

Tabla 2. Medias mensuales de mediciones PM2,5. Tucumán. 2023

Localidad/Departamento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media 2023
Monteros / Monteros	9,3	11,6	15,5	29,8	19,1	31,1	26,7	38,3	39,0	16,4	41,7	2,0	23,4
Río Chico / Río Chico		15,0	11,5	11,7	14,5	25,7	33,8	31,1	17,0	6,7	5,1	6,2	16,2
Villa Quinteros / Monteros									29,9		15,1	7,5	
Tafí del Valle / Tafí del Valle	3,7	4,8	5,3	3,7	6,6	7,0	8,9	11,3	8,0				6,6
Los Ralos / Cruz Alta	3,7	9,1	12,3	12,8	24,8	33,8	31,8	35,1	28,4	22,3	16,7		21,0
Tafí Viejo / Tafí Viejo	10,9								30,4	25,5	18,4	13,3	
Juan B. Alberdi / Juan B. Alberdi	5,4	8,8	8,4	8,9	13,5	22,6	24,7	28,3	20,3	19,0	12,1	7,4	15,0
Santa Rosa de Leales / Leales	10,6	12,8	13,8	12,1	22,9	36,1	30,0	44,9	34,9	25,1	23,7	11,2	
Villa de Leales / Leales	10,6	12,8	13,8	12,1	17,7	17,8	24,8	33,1	26,5	4,9	17,6	10,9	20,0
Taco Ralo / Graneros		11,4			14,9	18,4	19,9	16,6	13,7	11,4	7,5	6,3	13,3
San Pedro de Colalao / Trancas				8,3	16,4	15,3			14,7	9,1	9,8	4,4	11,1
Colalao del Valle / Tafí del Valle								10,0	5,3				
San Isidro de Lules / Lules	10,6		13,8	12,1	17,7	17,8	24,8	33,1	25,7	25,1	23,7	11,2	19,6
El Chañar / Burreuyacú	11,6	11,4	12,7	15,3	20,7	34,3	32,1	37,5	31,6	12,5	8,3		21,3
	12,4	15,9	15,1	15,0	20,6	29,6	30,4	41,7	29,2	25,1	17,4	10,8	
Yerba Buena / Yerba Buena	11,4	12,9	13,1	14,3	19,8	29,7	29,4	29,4	23,9	18,9	16,1	12,1	19,2
San Miguel de Tucumán / Capital	11,6	12,8	12,7	15,3	20,6	34,3	32,1	37,5	25,8	7,3	6,4	8,7	18,7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Breathe2Change.

Para la estimación de población expuesta se consideró la sumatoria de las cifras de población de aquellos departamentos que cumplían con los siguientes criterios de inclusión: a) con equipos instalados para medición continua de concentración de PM2,5 en aire; b) con áreas de cultivo de caña de azúcar; c) con acceso a energía eléctrica; d) con protección contra vandalismo del equipo de monitoreo de calidad de aire instalado; e) con datos de medias mensuales de concentraciones de PM2,5 para todos los meses de 2023.

En la tabla 3 se presentan los datos de población de la Provincia de Tucumán, por Departamento, correspondientes al censo del año 2022 y la población considerada expuesta²³.

Para la carga de datos de incidencia de la mortalidad por todas las causas no accidentales, por 100 mil habitantes que requiere el AirQ+, se utilizaron los datos de mortalidad del año 2022 últimos datos publicados por la Dirección de Estadística de Tucumán²⁴. No se consideraron los rangos etéreos de la población.

El análisis se basó en un único número de concentración de PM2,5 para cada condición evaluada, la media anual, que incluye la media para el período de zafra (mayo a septiembre) y la media para el período interzafra (enero-abril y octubre-diciembre).

Tabla 3. Población de la Provincia de Tucumán, por Departamento. Año 2022

Departamento	Población año 2022	Población expuesta
Burreuyacú	45 476	45 476
Capital	590 342	590 342
Chicligasta	92 608	NA
Cruz Alta	228 077	NA
Famailá	42 702	NA
Graneros	15 540	NA
Juan Bautista Alberdi	34 766	34 766
La Cocha	21 218	NA
Leales	66 392	66 392
Lules	93 552	93 552
Monteros	77 551	77 551
Río Chico	64 962	64 962
Simoca	36 973	NA
Tafí del Valle	22 440	NA
Tafí Viejo	172 986	NA
Trancas	23 3494	NA
Yerba Buena	102 741	102 741
Total	1 731 820	1 075 782

Nota: NA: no aplica.

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo 2022. República Argentina. Provincia de Tucumán.

El software utiliza un valor de riesgo relativo predeterminado para todas las causas de mortalidad, que es 1,08 (IC95 %: 1,06–1,09); y un valor de corte predeterminado por las Directrices de Calidad del Aire (DCA), de la OMS 2021, que para PM_{2,5} es de 5 µg/m³. AirQ+ calcula la carga o el impacto de la exposición cuando se excede esta concentración. El método de cálculo que utiliza el software es log-lineal.

Según indican los manuales del AirQ+ y las DCA de OMS, los valores del riesgo relativo y el intervalo de confianza de 95 % se desprenden de la revisión sistemática de más de 100 estudios, publicada como Cheng J, Hoek G (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 143:105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974”.

RESULTADOS

Se calculó que la población expuesta asciende a 1 075 782 habitantes, considerando la población de los

departamentos que cumplen los criterios de inclusión: Monteros, Río Chico, Juan Bautista Alberdi, Leales, Lules, Burruyacú, Yerba Buena, Capital. Para el software la sumatoria es la población en riesgo (100 %).

Las concentraciones medias mensuales en invierno de PM_{2,5} alcanzaron valores superiores a los 40 µg/m³, con una media anual de 19,4 µg/m³ (datos de 9 puntos de monitoreo de la red). El “evento resultado en salud” seleccionado para el cálculo de impacto en el software, fue la mortalidad por todas las causas no accidentales. Según los datos de la provincia de Tucumán para el año 2022 (último dato publicado) el número de fallecimientos por causas no accidentales, fue de 8 463. A partir de esta cifra se calculó la mortalidad para los dos escenarios considerando las medias de la concentración promedio de PM_{2,5} correspondiente. La tabla 4 muestra los resultados y las figuras 3 y 4 las correspondientes capturas de pantalla del software AirQ+.

AirQ+ estimó que, de los 8 463 fallecimientos/año por CNA (2022), 888 fatalidades (IC₉₅: 681-988) podrían atribuirse a la exposición media anual de 19,4 µg/m³ de

Tabla 4. Resultado del cálculo de mortalidad en cada escenario según AirQ+

	Media concentración PM _{2,5} (ug/m ³)	Fracción atribuible de mortalidad (%)	Número de fallecimientos atribuibles	Mortalidad por 100 000 habitantes
Anual	19,4	10,49 (IC ₉₅ : 8,05-11,67)	888 (IC ₉₅ : 681-988)	82,53 (IC ₉₅ : 63,31-91,81)
Período de zafra - mayo a septiembre	27,7	No aplica		
Período interzafra - octubre a abril	10,8 (1)	4,37 (IC ₉₅ : 3,32-4,88)	369 (IC ₉₅ : 281-413)	34,34 (IC ₉₅ : 26,14-38,35)

NOTA: Este valor de concentración de PM_{2,5}, se asume como media anual para estimar la mortalidad atribuible en ausencia de quema de caña de azúcar.

Fuente: elaboración propia.

PM_{2,5} determinada para 2023, contemplando la quema de biomasa. Fuera de la estación invernal, sin quema de biomasa agrícola, la media anual de PM_{2,5} fue estimada en 10,8 µg/m³, reduciendo la mortalidad calculada por AirQ+ a 369 (IC₉₅: 281-413) fatalidades/año. Es decir, la diferencia entre ambas condiciones es de 519 fatalidades/año, un 6 % de los fallecimientos ocurridos en 2022.

DISCUSIÓN

A partir de estos resultados, que indican que podrían evitarse alrededor de 500 fallecimientos anuales en la Provincia de Tucumán si se eliminara la práctica de la quema de caña de azúcar durante la zafra, surgen muchos interrogantes, sobre la calidad de los datos utilizados, la validez de la metodología de cálculo que realiza el

software AirQ+, sobre los otros factores contribuyentes, sobre la importancia del cultivo de caña de azúcar para la economía local, sobre las medidas reglamentarias que están vigentes o las que se podrían implementar.

Los cultivos de caña azucarera y cítricos son un soporte significativo para la economía de Tucumán. Cada año, el manejo de dichos cultivos involucra un aumento en la circulación vehicular por caminos de tierra y la quema de biomasa. Esto, en un contexto de sequía característica del invierno y en una región montañosa con marcados episodios de inversión térmica, determinan la exposición de la población a concentraciones de contaminantes en el aire como el material particulado PM_{2,5} que aumentan significativamente el riesgo para su salud.

Figura 3. Captura de pantalla de los cálculos realizados por AirQ+ para la Evaluación de Impacto con datos de media anual de concentración de PM2,5 para dos escenarios diferentes

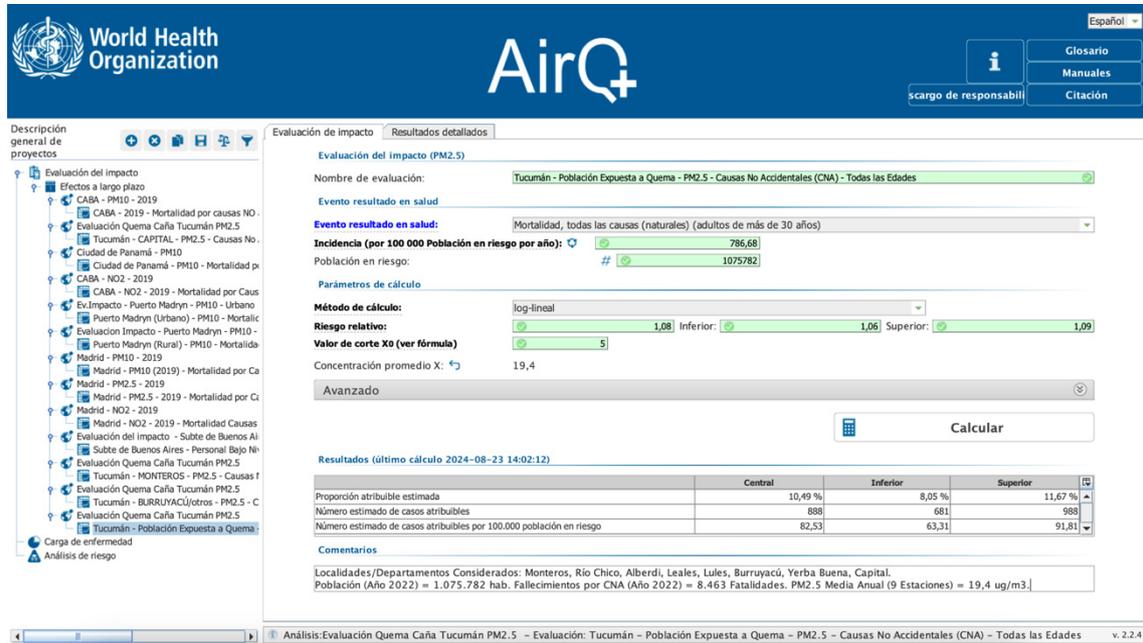
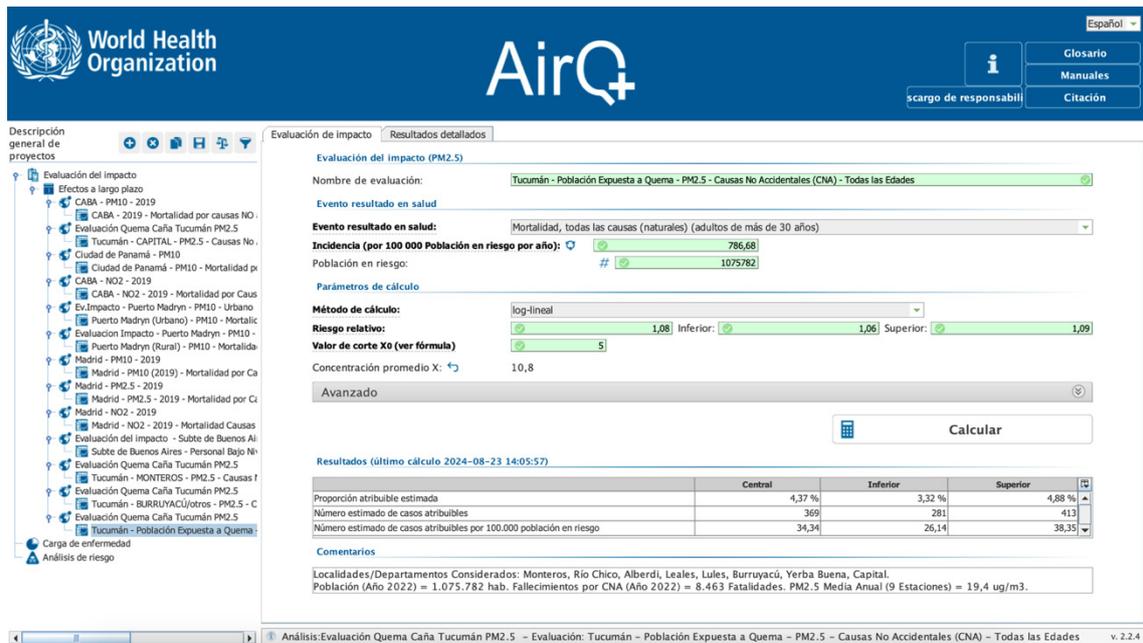


Figura 4. Captura de pantalla de los cálculos realizados por AirQ+ para la Evaluación de Impacto con datos de media anual de concentración de PM2,5 para dos escenarios diferentes



Los datos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres que se mencionan permiten vincular las mayores concentraciones de PM_{2,5} observadas en algunos Departamentos de Tucumán (tabla 2) con los meses típicos en los que se desarrolla la zafra de la caña de azúcar, las quemas de los predios sembrados con caña y sus tareas de logística asociadas. No se han considerado para este estudio las variaciones en las emisiones de la actividad industrial y las resultantes del aumento del tránsito vehicular a las concentraciones medidas de PM_{2,5} y la contribución de las mismas a las estimaciones de mortalidad, pero se presumen de baja significación para los valores hallados.

Según la Organización Panamericana de la Salud, la contaminación del aire es el principal riesgo ambiental para la salud pública en las Américas. En todo el mundo, cerca de 7 millones de muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire, siendo los países de ingresos bajos y medios los más afectados. Por esta razón, determinar los índices de calidad de aire es un paso significativo para abordar esta problemática. Sin embargo, esto no puede realizarse sin el uso de herramientas de monitoreo accesibles para las economías en vías de desarrollo. En la actualidad existe una gran variedad de sensores llamados comúnmente "de bajo costo" para el monitoreo de la calidad de aire que están siendo ampliamente utilizados gracias a que son portátiles y de operación más sencilla que los instrumentos de referencia. Estos módulos compactos y económicos se combinan con redes informáticas para la transmisión y almacenamiento de datos y, si bien no se recomiendan para fines regulatorios, se convierten en una poderosa herramienta para el estudio local y regional del impacto que la calidad del aire tiene sobre la salud y los ecosistemas en general.

Un ejemplo de monitoreo de la calidad del aire con participación comunitaria mediante sensores de bajo costo que complementan los esfuerzos gubernamentales es el que lleva a cabo en el Reino Unido el programa *Breathe London*²⁵ que cuenta con el apoyo del grupo de investigación que opera la red de sensores de referencia de la ciudad.

No debe subestimarse la controversia que existe respecto de la calidad de los datos generados por estos sensores de bajo costo, argumentando que podrían conducir a una sobreestimación o subestimación de los niveles de PM_{2,5} en el aire ambiente. Por ejemplo, la concentración másica medida por los módulos es afectada por la humedad relativa del ambiente y la composición de las partículas. Es por ello que los sensores de ubicaciones fijas de la red que aporta los datos utilizados en este estudio, han sido caracterizados y calibrados según las características principales de los aerosoles a medir y la variedad de condiciones meteorológicas a las cuales

están expuestos¹⁸. Todo ello con la finalidad de reducir la incertidumbre de medición en comparación con los instrumentos de referencia requeridos.

La evaluación de impacto en salud atribuible a la contaminación del aire medida con los sensores, es una acción superadora de la simple consideración de cumplimiento o no de los valores normativos vigentes en el sitio, o las cifras recomendadas como DCA de la OMS. Se trata de una evaluación científica de los potenciales efectos adversos a la salud por la exposición a un peligro, o de los potenciales beneficios al reducir la exposición a los contaminantes. Metodológicamente sigue los mismos pasos que la evaluación de riesgos, a) identificación del peligro (cada contaminante del aire); b) caracterización de la relación dosis - respuesta del peligro (AirQ+ tiene incorporados a los cálculos los factores establecidos en estudios epidemiológicos y avalados por la OMS en las Directrices); c) estimación/evaluación de la exposición y d) caracterización del riesgo.

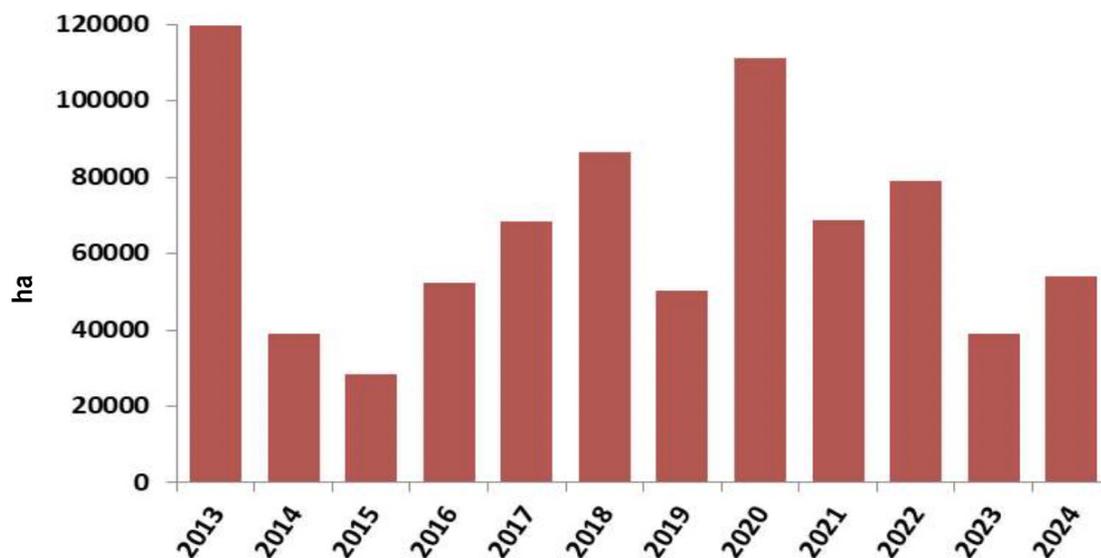
A través de esta metodología se pretende responder a las siguientes preguntas: a) ¿Cuál es la carga de enfermedad (mortalidad y/o morbilidad) atribuible a los niveles actuales de contaminación del aire?; b) ¿Cuáles son los beneficios para la salud humana de alcanzar determinado valor de calidad de aire (norma nacional o local o recomendación internacional); c) ¿Cuáles son los beneficios en términos de salud pública por la aplicación de una política o programa?

La fortaleza y validez del uso del software AirQ+ para la estimación de los impactos en la salud de la contaminación del aire queda demostrado cuando la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) informa que casi 240 mil muertes al año en la Unión Europea pueden atribuirse a la exposición a partículas finas en el aire, a partir de las estimaciones que se realizan siguiendo las Directrices de la OMS, que están contempladas en el AirQ+²⁶.

Entre las limitaciones se mencionan: la calidad de los datos obtenidos de las mediciones, la cobertura o área de influencia de las estaciones de monitoreo, el indicador empleado (valor de la estación más cercana, promedio simple), la evaluación de un solo contaminante (PM_{2,5}).

En este estudio se identifica como una limitación que las funciones concentración-respuesta que utiliza AirQ+ están tomadas de estudios epidemiológicos realizados en USA y en Europa, agregando mayor incertidumbre a los resultados, por cuanto en los países de menores recursos la población tiene mayor vulnerabilidad social, más comorbilidades y el acceso a los servicios de salud es deficitario. Todo ello conduce a que las estimaciones realizadas, podrían ser un cálculo bastante conservador sobre el verdadero impacto sobre la salud que tienen

Figura 5. Evolución anual del área cañera sometida a procesos de quema. Tucumán. Zafras 2013 a 2024



Fuente: EEAOC. Reporte agroindustrial N° 332. Enero 2025. Obra citada

estos niveles de contaminación por PM_{2,5}, de modo que la realidad podría ser peor.

Otra limitación está dada por la no superposición temporal de los datos. En efecto los datos de población y las estadísticas de salud (2022) no corresponden al mismo período de tiempo que las mediciones de PM_{2,5} (2023). Considerando que la variación interanual de la población no es significativa y los reportes anuales sobre áreas afectadas por quema de caña de azúcar durante la cosecha, que pueden verse resumidos en la figura 5, muestran que la superficie quemada en 2023 ha sido casi la mitad que la afectada en 2022, las estimaciones de mortalidad atribuible para 2023 pueden asumirse como valores conservadores y probablemente por debajo del valor real para el período.

En este estudio se han considerado los datos de mortalidad total, aun cuando la herramienta AirQ+ analiza mortalidad por todas las causas en mayores de 30 años. Se debe destacar que de la información publicada por la Dirección de Estadísticas de Tucumán no es posible extraer las defunciones de mayores de 30 años, lo cual puede resultar en una limitación a la hora de interpretar los resultados de la herramienta. Aun así, es dable destacar que las DCA de OMS consignan que el valor de RR 1,08 corresponde a "mortalidad total no accidental", sin hacer mención a límites de edad para aplicarlo, ni a que no resulta apropiado para poblaciones menores de 30 años.

Si bien en este estudio el impacto en salud se expresa como número de fatalidades atribuibles, cabe mencionar

que se ha descrito ampliamente la asociación de la quema de caña de azúcar con la prevalencia de síntomas respiratorios y oculares y el incremento de las consultas en los establecimientos de salud de la Provincia de Tucumán. Un estudio realizado con 629 niños de 10 y 11 años en la ciudad de Monteros en el período 2010-2012, mostró que los niños sanos previamente, reportaron dos veces más episodios de dificultad respiratoria y de trastornos oculares durante la época de zafra (mayo a septiembre) que en la interzafra (noviembre a abril), y en el caso de los niños con antecedentes de asma, se triplicaban los episodios de síntomas respiratorios¹⁴. Hallazgos similares tuvo un estudio ecológico realizado entre 2012 y 2015 teniendo en cuenta las consultas por enfermedades respiratorias y oculares en menores de 15 años a los centros asistenciales de salud pública por semana epidemiológica, en relación con los datos de localización geográfica de focos de fuego²⁷.

Utilizando datos de la misma red de monitoreo ambiental que la referida en este trabajo se pudo realizar un estudio sobre la prevalencia de síntomas respiratorios en niños de escuelas de 12 ciudades de Tucumán en 2023 y su relación con la contaminación del aire por material particulado PM_{2,5} en distintas zonas y en períodos antes y después de la cosecha de caña de azúcar. Los resultados mostraron que, en todas las escuelas con incidencia de quema en la zafra, la incidencia de signos/sintomatología respiratoria fue significativamente mayor en los meses de zafra coincidentemente con concentraciones también significativamente superiores de PM_{2,5}²⁸.

La problemática ha sido descrita en otros países de la región que cultivan la caña de azúcar, tales como Colombia, Perú y Venezuela^{13,29,30}, con la consiguiente contaminación del aire con material particulado y compuestos cancerígenos.

Un estudio realizado en el Hospital San Vicente de Paúl, del municipio cañero de Palmira, Valle del Cauca (Colombia), determinó que las enfermedades respiratorias agudas son las de mayor consulta médica y su causa sería la pavesa de la caña de azúcar, emisiones de cenizas que afectan el sistema respiratorio de los locales y que actualmente presentan demanda³¹.

Considerando la mayor vulnerabilidad social de los países de la región y el impacto negativo en los indicadores de salud ambiental como los que aquí se consideran, se podría deducir que los valores hallados son conservadores y podría esperarse que la mortalidad asociada fuera mayor (población con menor acceso al sistema de salud, con comorbilidades, con peores condiciones de higiene ambiental, entre otras).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir que, si se eliminara la quema como práctica en el manejo del cultivo de caña de azúcar, se evitarían más de 500 fallecimientos por año en la Provincia de Tucumán, equivalentes a un 6 % del total de defunciones en 2022. Por lo tanto, toda acción que reduzca la frecuencia y extensión de las quemas aportaría a la mejora en salud pública.

Los expertos afirman que no hay ya espacio legal ni razones metodológicas para continuar con esta práctica en los actuales sistemas de producción¹¹. Sin embargo, aún hay grandes superficies afectadas por este problema, lo que demuestra que deben incrementarse los esfuerzos de fiscalización y control para mejorar el cumplimiento de la normativa. También fortalecer otras iniciativas voluntarias vigentes, como la certificación denominada "Caña de azúcar sin uso del fuego", implementada en el año 2014 y que permite a los productores cañeros certificar que en sus campos no se utiliza el fuego en ninguna de las etapas productivas. También, siguiendo las recomendaciones de especialistas en la materia, se debería promover más el enfardado del Residuo Agrícola de Cosecha para su uso energético como actividad productiva, mejorar el acceso de los pequeños productores a la maquinaria adecuada y lograr una toma de conciencia de sus beneficios ambientales y económicos por parte de técnicos, productores y ciudadanos en general.

Al traducir los datos cuantitativos de concentraciones de PM_{2,5} en datos de salud perdida atribuible, que también son medibles, se busca contar con un diagnóstico

cuantitativo de los impactos en la salud y de los costos sociales y económicos asociados. También conocer los beneficios en salud y los ahorros económicos asociados a la mejora de la calidad del aire. Disponer de estos datos debería facilitar la comunicación de los riesgos de la práctica de las quemas agrícolas, la sensibilización de diferentes actores y la toma de decisiones y de acción para minimizar esos daños. Dado que se trata de prácticas que también afectan al cambio climático, se podrían evaluar los co-beneficios de las medidas de mitigación. Por otro lado, fortalece la colaboración entre los sectores de salud y ambiente, identifica y sustenta la necesidad de renovar y actualizar las herramientas de gestión de la calidad del aire y sirve de apoyo para la solicitud de financiamiento nacional e internacional.

De todo lo aquí expuesto, surge la necesidad de incorporar a la vigilancia tradicional de la calidad del aire por parte de los organismos reguladores, que se ha visto interrumpida en varias oportunidades en diversas jurisdicciones del país, estas iniciativas favorecidas por la creciente disponibilidad y mejora de los sensores de material particulado de bajo costo y la participación de organizaciones de la sociedad civil y del sector académico. En tal sentido es importante la adopción de buenas prácticas de monitoreo de PM_{2,5} mediante sensores de material particulado de bajo costo, como los utilizados por la Iniciativa Breathe2Change en el presente estudio, tal como recomienda la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS)³². Finalmente, será necesario integrar estas mediciones con el desarrollo y aplicación de Programas de Vigilancia en Salud Ambiental con fines de prevención y control a escala nacional, provincial y municipal¹⁴.

Finalmente, se recuerda que la ONU ha hecho un llamado a los gobiernos para que, sin perder la perspectiva local y regional, se intensifiquen rápidamente las acciones para mejorar la calidad del aire, tales como: a) adoptar o revisar y aplicar las normas nacionales de calidad del aire de acuerdo con las últimas directrices de la OMS sobre la calidad del aire; b) vigilar la calidad del aire e identificar las fuentes de contaminación atmosférica; c) apoyar la transición al uso exclusivo de energía limpia en los hogares para cocinar, calentar y alumbrar; d) construir sistemas de transporte público seguros y asequibles, así como redes para peatones y ciclistas; e) aplicar normas más estrictas sobre las emisiones y la eficiencia energética de los vehículos y hacer obligatorias las inspecciones y el mantenimiento; f) invertir en viviendas y en la generación de energía eficiente; g) mejorar la gestión de los residuos industriales y municipales; h) reducir la incineración de residuos agrícolas, los incendios forestales y determinadas actividades agroforestales (por ejemplo, la producción de carbón vegetal); i) incluir la contaminación atmosférica en los planes de estudio de los profesionales de la salud y proporcionar herramientas para que el sector sanitario se comprometa¹.

BIBLIOGRAFÍA

- Organización de las Naciones Unidas. Portal de noticias. El 99% de la población mundial respira aire contaminado. [actualizado el 04 de abril de 2022; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>.
- Organización Mundial de la Salud. Directrices mundiales de la OMS sobre calidad de aire. Ginebra, OMS. 2021. [actualizado en 2021; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud. Base de datos de la OMS sobre calidad del aire ambiente (actualización de 2024). Versión 6.1. Ginebra, OMS. 2024. [actualizado el 1 de febrero de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: [https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-\(update-jan-2024\)](https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-(update-jan-2024)).
- Organización Panamericana de la Salud - Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental. Minicurso sobre Estimación de morbilidad y mortalidad por contaminantes atmosféricos. Usos del AirQ+. Video. [actualizado el 14 de noviembre de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=s-BZ5PSL418&list=PLEDTFFKaBcQPlsRP TycmFMY3ypzmk41Hs&index=3&t=2408s>.
- Banco Mundial. El costo global para la salud de la contaminación del aire por PM2.5: Argumentos a favor de la acción más allá de 2021. International Development in Focus. Washington, DC: Banco Mundial.
- Evaluación de impacto en salud de la contaminación del aire: Manual de introducción aAirQ+. Octubre 2020. Traducción al español: Septiembre 2023. [actualizado el 14 de febrero de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/m/item/evaluaci-n-de-impacto-en-salud-de-la-contaminaci-n-del-aire--manual-de-introducci-n-a-airq>.
- Gobierno de Tucumán. Secretaría de comunicación pública. Las principales actividades económicas de Tucumán cierran un año positivo. [actualizado el 27 de diciembre de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.comunicaciontucuman.gob.ar/noticia/economia-produccion/231949/principales-actividades-economicas-tucuman-cierran-ano-positivo#:~:text=Ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar&text=Junto%20con%20las%20provincias%20de,2023%20solo%20fueron%2080%20mil>.
- Gobierno de Tucumán, Ley N° 6253. Normas generales y metodología de aplicación para la defensa, conservación y mejoramiento del Ambiente. 1991. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/producciones_sostenibles/legislacion/provincial/_archivos/000005-Legislaci%C3%B3n%20Ambiental%20General/000023-Tucum%C3%A1n/006253-LeyN%C2%B06253%20Normas%20grales%20y%20metod%20de%20aplicaci%C3%B3n.pdf.
- Gobierno de Tucumán. Decreto Reglamentario 1955/9, de la Ley N° 6253. 2013. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://producciontucuman.gob.ar/servicios/dec-n1955-9-2013-reglamento-de-infracciones-a-la-ley-n6-253/>.
- Gobierno de Tucumán. Ley N° 7459. 2004. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: https://www.ecofield.net/Legales/Tucuman/ley7459_TUC.htm.
- Fernández de Ullivarri J, Carreras Baldrés J, Soria F y colab. Quema de caña de azúcar en Tucumán. Problema, balance y perspectiva. EEAOC. Avance Agroindustrial 42(4), pág 22-26. 2021 [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.avance.eeaoc.org.ar/articulo/quema-de-cana-de-azucar-en-tucuman/#:~:text=La%20quema%20de%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20es%20explotada%20comercialmente>.
- EEAOC. Reporte agroindustrial N° 332. Enero 2025. Relevamiento de la superficie quemada en el área productiva de Tucumán durante la campaña 2024. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=relevamiento-de-la-superficie-quemada-en-el-area-productiva-de-tucuman-durante-la-campana-2024>.
- Silva LU. Consecuencia ambiental de la quema extensiva de caña de azúcar. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/grafias/articulo/download/1298/1308/>.
- Altieri HH, Bruno ME, Calli R, Ríos VH, Meoni GS, Martínez MD. Prevalencia de síntomas respiratorios y oculares en época de zafra en escolares de una ciudad de Tucumán en relación con la contaminación ambiental 2010-2012. Ministerio de Salud Pública. Gobierno de Tucumán. Argentina. Investigación en salud. 2018; 2(1): 3-11.
- Breathe2change. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://breathe2change.org/>.
- Elizondo J, Reynoso Posse F, Ben Altabef A y Gibilisco RG. Primera determinación en tiempo real de la contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de San Miguel de Tucumán. Cartel presentado en el V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Argentina y Ambiente. San Luis. Argentina. 2023.
- Elizondo J, Reynoso Posse F, Sáez MM, Torkar SA, Lanus HE, Kurtenbach R, Caggiano A et al. Primera determinación en tiempo real de material particulado en Tucumán mediante una red de módulos integrados de sensores ambientales. Cartel presentado en el XXIII Congreso Argentino de Físicoquímica y Química Inorgánica. El Calafate. Argentina. 2023.
- Sáez MM, TorkarSA, Ben Altabef A, Gibilisco RG. Intra-comparación de una red de módulos integrados de sensores ambientales (MISA) en el Laboratorio de Estudios Atmosféricos, Tucumán. Cartel presentado en el V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Argentina y Ambiente. San Luis. 2023.
- Torres Peralta T, Elizondo J, Torkar S, Gibilisco RG, Caggiano A. Breathe2Change-Big-Data-Platform (B2C-BIG-DATA): plataforma para gestionar, visualizar y analizar los datos de la iniciativa Breathe2Change. Cartel presentado en el V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Argentina y Ambiente. San Luis. Argentina. 2023.
- Oficina Regional de la OMS para Europa, Centro Europeo de Medio Ambiente y Salud (2022). AirQ+: herramienta para la evaluación del riesgo para la salud de la contaminación atmosférica. [citado el 3 de febrero de 2025]. <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>.
- Organización Mundial de la Salud. Evaluación de impacto en salud de la contaminación del aire: entrada de datos de múltiples áreas en AirQ+. [actualizado el 14 de febrero de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/m/item/evaluaci-n-de-impacto-en-salud-de-la-contaminaci-n-del-aire--entrada-de-datos-de-multiples-reas-en-airq>.

22. EEAO. Reporte Agroindustrial N° 261. Relevamiento satelital de cultivos en la provincia de Tucumán. [actualizado en noviembre de 2022, citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2022/11/RA-261-Sensores-Cania.pdf>.
23. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo 2022. República Argentina. Provincia de Tucumán. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_tucuman/.
24. Dirección de Estadística de la Provincia. Gobierno de Tucumán. Estadísticas vitales. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://estadistica.tucuman.gov.ar/index.php/poblacion/estadisticas-vitales?id=381>.
25. Breathe London. The community sensing network. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.breathelondon.org/>.
26. European Environmental Agency. Health and environment impacts of air pollution exposure remain high across Europe. [actualizado el 10 de diciembre de 2024; citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/health-and-environment-impacts-of-air-pollution>.
27. Jordán AM, Flores I. Efecto de la quema de caña en las consultas por patologías respiratorias y oculares de la población menor de 15 años en establecimientos públicos de salud de la provincia de Tucumán durante el período 2012-2015. Ministerio de Salud Pública. Gobierno de Tucumán. Argentina. Investigación en salud. 2018; 2(1):12-9.
28. Altieri HH, Maraño RO, Santos JC, Baldasaria RA, Sáez MM, Ben Altabef A t al. Impacto de la contaminación del aire en la salud respiratoria infantil de Tucumán 2023. Cartel presentado en el 52° Congreso Argentino Nacional de Medicina Respiratoria, Primer Premio en su categoría. Mendoza, Argentina. 2024.
29. Carrera JP, Loyola E, Iglesias S. Impacto ambiental ocasionado por la quema de la caña de azúcar en Laredo, Trujillo. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. UNMSM. 2010; 13(26). Tesis. DOI: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.435>.
30. Hernández de L Y. Efecto de la quema de la caña de azúcar sobre la incidencia de enfermedades respiratorias en dos localidades del estado Aragua, Venezuela. Revista Caña de azúcar. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIACENIAP), Venezuela. 1995; 13(2):85-97. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://sian.inia.gob.ve/canadeazucar/cana1302/texto/quema.htm>.
31. Dávalos Álvarez E. La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?. Desarrollo y Sociedad. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia. 2007; 59:117-64. [citado el 3 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1691/169113811005.pdf>.
32. Gomez D, Vassallo J. Sensores de material particulado en suspensión de bajo costo: integración al monitoreo de la calidad del aire. Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 2023; 16(3):1030-52. DOI: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.3.86568>.