



Cuba Salud

IV Convención
Internacional de Salud
17-21 de octubre, 2022

CAMBIO CLIMÁTICO Y CARGA DE ENFERMEDADES: IMPACTOS Y PROYECCIONES FUTURAS EN CAPITALES DE LA AMAZONÍA LEGAL

Autores:

Luis Sauchay Romero (1)

Ludmilla da Silva Viana Jacobson (2)

Hermano Albuquerque de Castro (3)

Sandra de Souza Hacon (1)

(1) Departamento de Endemias Samuel Pessoa. Escuela Nacional de Salud Pública “Sergio Arouca”. Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ).

(2) Departamento de Estadísticas. Universidad Federal Fluminense (UFF)

(3) Centro de Estudios de la Salud del Trabajador y Ecología Humana. Escuela Nacional de Salud Pública “Sergio Arouca”. Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ).

Resumen:

Fundamentos: Bajo la influencia del cambio climático crece la exposición ambiental al calor y la contaminación, exacerbada por eventos extremos, incrementando el riesgo de mortalidad en áreas vulnerables. Se evaluaron los efectos presentes (2000-2019) y futuros del calor sobre la carga de enfermedades cardiovasculares (≥ 45 años), respiratorias (≥ 60 años) y por todas las causas (≥ 1 año) en capitales de la Amazonía Legal, Brasil.

Métodos: Estudio ecológico. Se estimó el riesgo relativo (RR) y fracciones atribuibles al calor de años de vida potencialmente perdidos (AVPP) en fallecidos entre 2000-2019. Los resultados fueron estimados en período base (1970-2005) y proyectados a futuro en los niveles específicos de calentamiento y períodos: 1,5 °C (2010-2039), 2,0 °C (2040-2069) y 4,0 °C (2070-2099), considerando los datos de temperatura del modelo climático regional WCRP CORDEX en escenario RCP8.5.

Resultados: Entre 2000-2019 el RR de AVPP se incrementó significativamente en las capitales ante la exposición al calor y marcadas amplitudes térmicas, con los mayores efectos sobre las enfermedades respiratorias en Río Blanco (14%), por todas las causas en Manaus (12%) y cardiovasculares en Cuiabá (9%). Comparado con el período base, el período 2040-2069 mostró el mayor aumento (10,40 veces) de la fracción de número de AVPP atribuibles al calor en la región, con predominio de las causas cardiovasculares. Los hallazgos encontrados no fueron totalmente concluyentes, la baja precisión de los intervalos de confianza estimados no mostró significancia en el efecto negativo del calor.

Conclusiones: Independiente de su significancia, el calor aumenta el riesgo de AVPP a corto y mediano plazo. Los resultados sustentan la necesidad de inclusión de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático como políticas públicas de protección a la salud.

Palabras clave: temperatura, cambio climático, años de vida potencialmente perdidos, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, mortalidad

Introducción

El cambio climático representa una grave amenaza para la salud humana. Bajo su influencia, alteraciones estacionales en el comportamiento de las temperaturas y del régimen de lluvia y sequía, se conjugan con el aumento en frecuencia y severidad de eventos extremos, trayendo consigo el incremento del riesgo de morbilidad por enfermedades cardiovasculares, respiratorias y otras transmitidas por vectores, agua y alimentos^(1,2). A estos efectos, se unen los impactos de las pérdidas económicas, la pobreza, la contaminación del aire, las aguas y el suelo, así como la pérdida de biodiversidad y la inseguridad alimentaria, los cuales se amplifican en áreas urbanas (zonas de alta exposición), donde se concentra la mayor parte de la población, teniendo una especial repercusión negativa en ciudades que carecen de infraestructura y servicios esenciales, como el acceso a los servicios de salud^(1,2).

Para elaborar proyecciones climáticas a largo plazo, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) utiliza trayectorias de concentración representativas (RCP, *Representative Concentration Pathways*). Todos los escenarios RCP prevén un aumento de la temperatura media superficie terrestre a escala global^(1,2); a su vez, estas proyecciones también pueden ser utilizadas en estudios epidemiológicos para evaluar el potencial comportamiento de enfermedades sensibles al clima en escenarios futuros.

Los incendios forestales, la expansión de las quemaduras agrícolas, el calor extremo y las ondas de calor, se destacan entre los principales eventos extremos con potenciales efectos negativos en la salud pública^(2,3,4), afectando en especial a grupos vulnerables: ancianos, personas de bajos ingresos, enfermos crónicos y embarazadas^(2,5). Particularmente la contaminación atmosférica generada por los incendios y quemaduras, constituida por una compleja mezcla de material particulado líquidos y sólidos, vapores, gases y cantidades significativas de otros contaminantes, se propaga a largas distancias, llegando a afectar grandes áreas urbanas.

Respecto al calor extremo, se define como un período de tiempo anormal e inconfortablemente cálido (igual o mayor de 90° percentil de la estimativa de la función de densidad de probabilidad observada en la temperatura) en un determinado lugar y época del año⁽¹⁾. La respuesta fisiopatológica depende, en esencia, de la gravedad de la falla del sistema termorregulador, que trae como consecuencia: fatiga, calambres, cansancio, síncope y muerte^(6,7).

En relación a las temperaturas extremas y las concentraciones estacionales de PM_{2.5} proveniente de quemaduras de la vegetación e incendios forestales, estudios epidemiológicos en el ámbito internacional han documentado la asociación entre el nivel y duración de la exposición y el incremento del riesgo de mortalidad^(8,9,10,11,12). Investigaciones brasileñas también exhiben hallazgos similares, mostrando, además, múltiples vulnerabilidades en regiones y municipios^(13,14,15). Cabe destacar que la mayoría de esos estudios fueron basados en análisis del número de casos diarios de mortalidad, sin tener en cuenta que la edad y la expectativa de vida⁽¹⁶⁾ son características de particular importancia para la salud pública. De esa manera, abordajes que las consideren en sus análisis se convierten en estrategias razonables de aplicar en estudios epidemiológicos que tengan el propósito de evaluar las variaciones del riesgo de mortalidad, tanto relativo como atribuible, por efectos de la temperatura a corto, mediano y largo plazo^(16,17).

En la actualidad condiciones de clima cálido, quemaduras agrícolas e incendios en extensas áreas de bosques se mantienen afectando a gran parte de la población residente en las capitales brasileñas^(2,23). La Amazonía Legal, extensa área geográfica localizada al norte de Brasil, es una de las zonas que viene presentando incrementos de la temperatura de 1°C por década⁽²⁾, siendo particularmente impactada por quemaduras agrícolas e incendios forestales, con varios períodos de alto riesgo identificados en los últimos

20 años (2004, 2005, 2007, 2010, 2016 e 2019) ⁽²³⁾. Por otra parte, entre 2010 y 2017, esa misma región, al contrario de otras regiones del país, mostró una tendencia creciente de 3% de la tasa de mortalidad por enfermedades evitables y de 4% por enfermedades crónicas no transmisibles, las cuales lideran la lista nacional de causas de muerte ⁽²¹⁾.

Desde esta perspectiva, considerando la importancia del impacto del cambio climático en la salud presente y futura, así como el insuficiente número de estudios que utilizan la carga de enfermedades como indicador de estimación del riesgo de mortalidad en respuestas a exposiciones ambientales, el presente estudio fue realizado con el objetivo de evaluar los efectos de la exposición al calor a corto y largo plazo, considerando también concentraciones regionales de PM_{2.5}, sobre los AVPP de etiologías respiratorias, cardiovasculares y por todas las causas, en la población de las capitales de los Estados de la Amazonía Legal.

I. MÉTODO

• TIPO, ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO

Se trata de un estudio ecológico de series temporales. Se estudiaron 9 capitales (San Luís, Palmas, Belém, Macapá, Buena Vista, Manaus, Río Blanco, Puerto Viejo, Cuiabá) de los Estados de la Amazonía Legal. Las relaciones iniciales de exposición-respuesta correspondieron al período 2000-2019. Las proyecciones de datos climáticos corresponden a los períodos 1970-2005 (base), 2010-2039 (próximo), 2040-2069 (medio) y 2070-2099 (distante).

• FUENTE DE DATOS

Los datos de mortalidad, meteorológicos y de contaminación corresponden al período 2000-2019. La mortalidad diaria fue extraída del sistema de información de mortalidad del Departamento de Informática del Sistema Único de Salud (SIM-DATASUS). Se utilizó la 10^ª Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) para la selección por códigos de las series temporales de: enfermedades cardiovasculares (≥ 45 años; CID-10: I00-I99); enfermedades respiratorias (≥ 60 años; CID-10: J00-J99); todas las causas, excepto las causas externas y perinatales (≥ 1 año; CID-10: A00-O99; R00-R99, Z00-U99) ⁽²⁴⁾. La selección de los grupos de las enfermedades y grupos de edades se basó en estudios previos ^(2,13,14,15,16).

Los AVPP fueron calculados integrando la edad de cada fallecido al grupo de valores etarios distribuidos por rangos de edad para ambos sexos propuestos en la tabla padrón de AVPP de la Organización Mundial de la Salud (OMS), derivada de las menores tasas de mortalidad específicas observadas por edad, proyectadas hasta el año 2050. Los AVPP diarios se resumen en la suma de todos los años relacionado a las muertes ocurridas en un día y posteriormente redondeados para ser convertida en una variable discreta (conteo).

Los valores medios diarios de las series de variables meteorológicas: temperatura (t; en grado Celsius [$^{\circ}\text{C}$]) y humedad relativa (HR; en por ciento [%]), fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas convencionales y/o automáticas del Instituto Nacional de Meteorología [anexo II] (<https://bdmep.inmet.gov.br/#>). Las concentraciones medias diarias de la serie temporal modelada de PM_{2.5} fueron calculadas a partir de los valores de la serie de concentraciones horarias del Sistema de Informaciones Ambientales (SISAM: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>). Los datos poblacionales de la mitad del período se obtuvieron del censo demográfico 2010 en DATASUS ⁽²⁴⁾.

• ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

En el análisis de la relación inicial exposición-respuesta fue utilizado el modelo de regresión lineal generalizada (GLM) combinado con el modelo no lineal de desfases (*lag*) distribuido (DLNM)) para medir los efectos lineales de la temperatura sobre los AVPP por tipo de enfermedad para cada capital. Los DLNM son basado en la definición de una función de base cruzada, derivada de la combinación de dos funciones que describen la naturaleza de la asociación exposición-*lag*-respuesta⁽²⁶⁾. El modelo 1 Binomial Negativo con Exceso de Ceros⁽²⁷⁾ fue utilizado para modelar los efectos de las covariables temperatura, humedad relativa e concentración de PM_{2.5} sobre los AVPP de causas respiratorias y cardiovasculares. El GLM 2 con distribución Quasi-Poisson se utilizó para modelar el efecto de las mismas covariables sobre los AVPP por todas las causas⁽²⁶⁾.

Posteriormente el metaanálisis y la metarregresión (metavARIABLES: temperatura media máxima, concentración media máxima de PM_{2.5}, población de la mitad del período de estudio [en anexo I tabla]) sintetizaron las estimaciones multiparamétricas de las capitales, estimando la relación temperatura-AVPP a nivel regional y cuantificando la heterogeneidad⁽³¹⁾.

Los riesgos fueron evaluados por medio de la fracción global de AVPP atribuible a la temperatura (FAG), la fracción de AVPP atribuibles al calor (FAC) y la fracción del número de AVPP atribuibles al calor (FNAC), calculados desde la perspectiva *forward* (prospectiva) a partir de la siguiente fórmula, según descrito en Gasparrini y Leone⁽³²⁾:

• PROYECCIONES FUTURAS

Para la cuantificación de los impactos futuros del calor sobre los AVPP de causas respiratorias, cardiovasculares y para todas las causas, fueron obtenidas del banco de datos del CPTEC/INPE las series históricas de datos de temperatura media diaria y divididas en 2 períodos básicos: base (1970-2005) e futuro (2010-2099). El período futuro fue proyectados a partir del modelo climático regional WCRP CORDEX, considerando el escenario climático RCP8.5 (escenario pesimista cuya tendencia actual de emisiones se mantiene inalterada hasta finales del siglo XXI, presenta altas emisiones de GEI con valores de forzamiento radiativo ascendente que conduce a 8,5 Wm⁻² en 2100), los niveles específicos de calentamiento y períodos: próximo (1,5 °C; 2010-2039), medio (2,0 °C; 2040-2069) y distante (4,0 °C; 2070-2099)^(1,34,35).

Para la descarga y organización de los datos se utilizó el software Excel (Microsoft 365; versión 2108). Para los análisis estadísticos y representaciones gráficas se utilizó el software R (versión 4.0.3; bibliotecas: *dlnm*, *mvmeta*, *ggplot2*).

II. RESULTADOS

Belém, Manaus, San Luís también fueron las capitales con mayores números de AVPP por todas las causas. Los hombres (54%) predominaron, así como la raza negra (72%), los solteros (58%) y a baja escolaridad (74%). De manera general, a lo largo del período 2000-2019, las tres series de AVPP delinearon una trayectoria con tendencia ascendente [en anexo III figuras 1 A, B, C]. El comportamiento estacional mostró a los meses de mayo y marzo como los de mayor número de AVPP en este período, tanto para las enfermedades cardiovasculares como para todas las causas. Los meses de abril y mayo presentaron los mayores valores de AVPP dentro de las causas respiratorias. Febrero y noviembre fueron los meses de menores pérdidas de años de vida [en anexo III figuras 1 D, E, F].

Con relación al clima, entre 2000 y 2019 la región se mantuvo cálido y húmedo, con valores medios de temperatura diaria de 27,77 °C y 76,72 % de humedad relativa, siendo agosto, septiembre y octubre los meses más cálidos y secos (tabla 2; [en anexo IV figuras 1 A, B, C, D]). El promedio de las concentraciones diarias de PM_{2.5} fue de 25,29 µg/m³, con las mayores concentraciones en la estación seca (tabla 2; [en anexo IV figuras E, F]).

Referente al RR de la exposición-respuesta, entre 2000-2019 las enfermedades respiratorias mostraron curvas acumulativas en forma de U abierta, exponiendo un aumento del RR de AVPP en la medida en que se aleja de la temperatura óptima, excepto en las capitales Belém, que presentó forma de J y Río Blanco, que presentó sus mayores impactos encima de la TO (19 °C) (figura 1 A).

Centrados en la exposición al calor, o sea, en las variaciones del riesgo en valores encima de la TO, los análisis mostraron incrementos del riesgo de AVPP, tanto en el P95 como en el P99 en todas las capitales, lo que refleja un incremento en la mortalidad. Río Blanco (14%), Palmas (10%) y San Luís (9%) se destacaron con los mayores aumentos (P99). Cabe señalar que la capital Río Blanco presentó una amplitud térmica de 11 °C, expresada en la diferencia de temperatura registrada entre los percentiles P1 (19 °C) y P99 (30 °C) (figura 1 A; [en anexo V tabla]). Los estimados de la FAG igualmente indicaron que, además de los efectos de las temperaturas en general, los impactos del calor sobre el número de AVPP fueron los más importantes en los enfermos respiratorios de 60 años o más. La FAC, así como la FNAC tuvieron un comportamiento similar, alcanzando los mayores valores en 6 capitales (Belém, Río Blanco, Puerto Viejo, Manaus, Cuiabá e San Luís) (tabla 3).

Con relación al metaanálisis y la metarregresión, las metavARIABLES temperatura media máxima, concentración media máxima de PM_{2.5} y población de la mitad del período de estudio (2010), no indicaron diferencias significativas en el comportamiento de los AVPP de causa respiratoria en las diferentes capitales de la región, demostrando que no hubo heterogeneidad; de la misma manera que no hubo para las de causa cardiovascular, ni para todas las causas [en anexo VI tablas A, B].

En referencia a los AVPP por enfermedades cardiovasculares, excepto en Manaus, las curvas acumulativas también presentaron forma de U abierta, aunque delineando una leve convexidad inferior debajo de la TO; por consiguiente, los mayores incrementos de RR fueron abajo de la TO (figura 1 B). No obstante, el calor también exhibió aumento del RR de AVPP, presentado sus mayores incrementos en Cuiabá (9%), Palmas (6%) y Belém (6%). De estas capitales, Palmas y Cuiabá exhibieron las mayores amplitudes térmicas, con 3.7 °C e 3.1 °C, respectivamente [en anexo V tabla]. Independientemente de Manaus, donde la FNAC y la FAC fueron negativos, en el resto de las capitales la FNAC presentó un aumento considerable comparado con las respiratorias y la FAC un aumento discreto, como fracción de la FAG (tabla 3).

Sobre los AVPP por todas las causas, las configuraciones de las curvas acumulativas variaron. Excepto las capitales Buena Vista, Cuiabá e San Luís, el resto de las curvas presentaron un incremento estable del RR de AVPP encima de la TO (figura 1 C). Los máximos impactos del calor se alcanzaron en Manaus (12%) y Palmas (10%), también con las mayores amplitudes térmicas, siendo de 4,4 °C e 5,1 °C, respectivamente [en anexo V tabla]. En el comportamiento de la FNAC, Manaus, Belém y San Luís alcanzaron los mayores valores. En cuanto a las estimativas de la FAC se destacaron Puerto Viejo, Palmas y Manaus (tabla 3).

La evaluación de la proyección futura en el escenario RCP 8.5 con diferentes niveles de calentamiento, también trajo resultados relevantes. Comparado con el período base (1970-2005), se observó una trayectoria ascendente de la FAC en el próximo (2010-2039) y medio (2040-2069) en todas las capitales

para los AVPP por enfermedades respiratorias, siendo compatible con significativos efectos perjudiciales del calor a corto y mediano plazo. Cabe señalar que todas las capitales decrecieron en el período distante (2070-2099), aunque manteniendo valores positivos de la FAC; Río Blanco mostró un descenso en la tendencia a partir del período medio (figura 2; [en anexo VII tabla]). Los valores futuros de la FNAC evidenciaron un comportamiento similar a la FAC. En este aspecto, Buena Vista mostró los mayores aumentos en el período próximo (8,91 veces) y medio (20,25 veces) (tabla 4). En general, la región mostró un incremento promedio de 1,96 veces de la FNAC en el período próximo, 2,96 veces en el medio y 0,32 en el distante.

La mortalidad por causas cardiovasculares también tuvo un comportamiento de la proyección futura similar a los de causa respiratorias, a excepción de Manaos, donde el delineamiento inverso “en espejo” de la tendencia indicó una disminución de la FAC hasta el año 2069 con un ascenso posterior, sin alcanzar valores absolutos positivos (figura 2; [en anexo VII tabla]). Con relación a la FNAC, Macapá mostró los mayores aumentos con 315 veces de 2010 a 2039 y 1378 veces de 2030 a 2069. En síntesis, la región registró un aumento promedio de 5,14 veces en el período próximo, 10,40 veces en el medio y se redujo en 0,05 veces en el período distante, comparado con el base (tabla 4). En las pérdidas por todas las causas, la proyección de la FAC fue consistente y estable en todas las capitales, cuyo comportamiento se mostró similar a la de causas respiratorias, exceptuando Buena Vista y Cuiabá, donde la tendencia fue inversa “en espejo” (figura 2; [en anexo VII tabla]). La FNAC en la región también exhibió incrementos promedios de 2,58 y 4,28 veces en los períodos próximos y medio, respectivamente, disminuyendo en 0,13 veces en el distante. Los mayores incrementos también se produjeron en Macapá (76,10 veces en el período próximo y 625,42 veces en el medio) (tabla 4).

Con respecto a estos resultados, es importante señalar que no son necesariamente concluyentes ya que, además del análisis a nivel agregado característico de los estudios ecológicos, están basados en las estrategias metodológicas expuestas y los valores de calor extremo definidos por los autores. En este sentido, aunque los valores absolutos de RR, FNAC, FAG y de FAC fueron compatibles con el impacto negativo del calor sobre los AVPP, la baja precisión de los intervalos de confianza empíricos estimados, los que incluyeron el 1 para el RR y el 0 para los otros parámetros, no mostraron la significancia de dicho efecto (Figura 1, tablas 3 y 4), indicando la posibilidad de perspectivas o abordajes diferentes a los utilizados.

III. CONCLUSIONES

Los análisis mostraron el aumento del RR de AVPP y de las fracciones de AVPP atribuibles a las altas temperaturas por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y por todas las causas, tanto en el período base como en los períodos próximos y medio. Las mayores amplitudes térmicas también se asociaron a las mayores pérdidas de años de vida. Independiente de considerar estos resultados no concluyentes, la investigación sustenta la necesidad de establecer y/o mantener políticas públicas de protección a la salud de la población residente en las capitales de la Amazonía Legal, incluidas medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Nota: Este trabajo ha sido aprobado para publicar por la *Revista Española de Salud Pública* en julio/2022, por lo que es enviado al evento con el objetivo de presentar resultados científicos de proyecto de investigación de la Escuela Nacional de Salud Pública-FIOCRUZ (Brasil). Los autores no autorizan la publicación en el evento. Pela extensión del trabajo no fue posible colocar los gráficos y tablas.

REFERENCIAS

1. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Suiza). Calentamiento global de 1.5°C. Ginebra: IPCC; 2019.
2. Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovaciones (Brasil). Cuarta Comunicación Nacional do Brasil. Brasília: Gobierno Federal; 2019.
3. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. The International Disaster Database - EM-DAT. 2021. Disponible en: <https://www.emdat.be/> [Citado 14 de noviembre de 2021].
4. Smith AJP, Jones MW, Abatzoglou JT, Canadell JG, Betts RA. Climate change increases the risk of wildfires. *ScienceBrief* [Internet]. 2020 [Citado 14 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4570195>
5. Stawski C, Doty AC. Understanding of organismal responses to fire. *Current Biology*. 2019;29:146–147.
6. Guyton AC, Hall JE, Hall ME. Fisiología médica. 14a ed. San Paulo: GEN Guanabara Koogan;2021.
7. Estela LBL. Pronósticos biometeorológicos. La Habana: Citmatel;2019.
8. Lui Z, Murphy JP, Maghirang R, Devlin D. Health and Environmental Impacts of Smoke from Vegetation Fires: A Review. *Journal of Environmental Protection*. 2016;7:1860-1885.
9. Doubleday A, Schulte J, Sheppard L, Kadlec M, Dhammapala R, Fox J et al. Mortality associated with wildfire smoke exposure in Washington state, 2006 – 2017: a case-crossover study. *Environmental Health*. 2020;19:1–10.
10. Al-Kindi SG, Brook RD, Biswal S, Rajagopalan S. Environmental determinants of cardiovascular disease: lessons learned from air pollution. *Nature Reviews Cardiology*. 2020;17:656-672.
11. Sun Z, Chen Ch, Yan M, Shi W, Wang J, Ban J et al. Heat wave characteristics, mortality and effect modification by temperature zones: a time-series study in 130 counties of China. *International Journal of Epidemiology*. 2020;49:1813–1822.
12. Wang Ch, Zhang Z, Maigeng Z, Wang P, Yin P, Ye W et al. Different response of human mortality to extreme temperatures (MoET) between rural and urban areas: A multi-scale study across China. *Health & Place*. 2018;50:119–129.
13. Oliveira BF, Silveira IH, Feitosa RC, Horta MAP, Junger WL, Hacon S. Human Heat stress risk prediction in the Brazilian semiarid Region based on the Wet-Bulb Globe Temperature. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 2019;91:1–13.
14. Gonçalves KS. Cardiovascular diseases and the exposure to particulate air pollutants derived from forest fires in Puerto Viejo municipality, Rondônia state, Brazilian amazon rain forest region [tesis doctoral]. Río de Janeiro (RJ): Escuela Nacional de Salud Pública;2016 (81p).
15. Silveira HI, Cortes TR, Oliveira BFA, Junger WL. Temperature and cardiovascular mortality in Río de Janeiro, Brazil: effect modification by individual-level and neighbourhood-level factors. *J Epidemiol Community Health*. 2020;0:1–7.
16. Luan G, Yin P, Li T, Wang L, Zhou M. The years of life lost on cardiovascular disease attributable to ambient temperature in China. *Scientific Reports*. 2017;7:1–9.
17. Hajat S, Armstrong B, Gouveia N, Wilkinson P. Mortality displacement of heat-related deaths: A comparison of Delhi, San Paulo, and London. *Epidemiology*. 2005;16:613–620.
18. Reichenheim ME, Werneck GL. Anos Potenciais de Vida Perdidos no Río de Janeiro, 1990. *As Mortes Violentas em Questão. Cadernos de Saúde Pública*. 1994;10:188–198.

19. Jiao A, Yu Ch, Xiang Q, Zhang F, Chen D, Zhang L et al. Impact of summer heat on mortality and years of life lost: Application of a novel indicator of daily excess hourly heat. *Environmental Research*. 2019;172:596–603.
20. Broome RA, Powel J, Cope ME, Morgan GG. The mortality effect of PM_{2.5} sources in the Greater Metropolitan Region of Sidney, Australia. *Environmental International*. 2020;137:105429.
21. Ministério da Saúde (Brasil). Saúde Brasil 2018. Uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas. Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde; 2019.
22. Jacobson LSV, Oliveira BFA, Perez LP, Hacon SS. Impacto do aquecimento global nos anos potenciais de vida perdidos por doenças cardiorrespiratórias em capitais brasileiras. *Sustainability in Debate*. 2020;11:346–360.
23. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. Queimadas. 2021. Disponible en: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/ [Citado 14 de noviembre de 2021].
24. DATASUS: Departamento de Informática del Sistema Único de Salud [Internet]. Brasília: Tabnet - [citado el 24 de abril de 2022]. Disponible en: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>.
25. Organización Mundial de la Salud. Métodos y fuentes de datos de la OMS para las estimaciones de la carga mundial de enfermedades. OMS. 2017. Disponible en: https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalDALYmethods_2000_2015.pdf [Citado 25 de noviembre de 2021].
26. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Statist. Med*. 2010;29:2224–2234.
27. Fumes G, Corrente JE. Modelos Inflacionados de Zeros: Aplicações na análise de um questionário de frequência alimentar. *Ver. Bras. Biom*. 2010;28(1):24–38.
28. Guo Y, Li S, Pan X, Zhang J, Williams G. The burden of air pollution on years of life lost in Beijing, China, 2004–08 : retrospective regression analysis of daily deaths. *BMJ*. 2013;347:1–10.
29. Huang J, Li G, Liu Y, Huang J, Xu G, Qian X et al. Projections for temperature-related years of life lost from cardiovascular diseases in the elderly in a Chinese city with typical subtropical climate. *Environmental Research*. 2018;167:614–621.
30. Silveira IH, Oliveira BFA, Cortes TR, Junger WL. The effect of ambient temperature on cardiovascular mortality in 27 Brazilian cities. *Science of the Total Environment*. 2019;691:996–1004.
31. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. *Statist. Med*. 2012; 31:3821–3839.
32. Gasparrini A., Leone M. Attributable risk from distributed lag models. *BMC Medical Research Methodology*. 2014;55:1–8.
33. Rezende LFM, Eluf-Neto, J. Fração atribuível populacional: planejamento de ações de prevenção de doenças no Brasil. *Ver. Saúde Pública*. 2016;30:1–6.
34. Programa Mundial de Investigaciones sobre el Clima. CORDEX. WCRP. 2022. Disponible en: <https://cordex.org/about/what-is-regional-downscaling/> [Citado 1 de mayo de 2022].
35. Intergovernmental Panel on Climate Change. Representative Concentration Pathways (RCPs). IPCC. 2019. Disponible en: https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_escenario_process/RCPs.html [Citado 25 de noviembre de 2021].