

Olas de calor y su repercusión en las enfermedades alérgicas: Reporte de Grupo del Comité de Medio Ambiente del Colegio Mexicano de Inmunología Clínica y Alergia (CMICA)

The impact of heat waves in allergic diseases: Group Report of the Environmental Committee of the Mexican College of Clinical Immunology and Allergy (CMICA)

María de la Luz Cid del Prado Izquierdo,¹  Cindy Elizabeth de Lira Quezada,^{2*}  Diana Leticia Aguirre Ramírez,³ 
Hugo Alberto Azuara Trujillo,⁴  Miguel Terán Olvera⁵ 

¹Jefe de Clínica de Asma, Alergia e Inmunología Clínica, Médica Bosques, Toluca

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Hospital Universitario y Facultad de Medicina "Dr. José Eleuterio González", Centro Regional de Alergia e Inmunología Clínica

³Alergia e Inmunología, Clínica Pediátrica Pigui, Hospital Español de México

⁴Titular del Servicio de Alergia e Inmunología Clínica del Hospital General de Zona 2, IMSS, Hermosillo, Sonora

⁵Servicio de Alergia e Inmunología Clínica, Hospital de Especialidades, UMAE Centro Médico Nacional Siglo XXI, Ciudad de México

Recepción: 07/00/2025

Aceptación: 03/11/2025

Publicación: 31/12/2025

*Correspondencia: Cindy Elizabeth de Lira Quezada. ce.dlira@gmail.com

Resumen

Antecedentes: El incremento en frecuencia e intensidad de las olas de calor, como consecuencia del cambio climático, representa un riesgo creciente para la salud pública, especialmente en poblaciones con enfermedades alérgicas y respiratorias.

Objetivo: Revisión bibliográfica de la relación entre las olas de calor y la exacerbación de enfermedades alérgicas, con énfasis en los mecanismos ambientales y fisiopatológicos implicados.

Métodos: Se realizó la búsqueda estructurada en Scopus y Web of Science (2015–2025), complementada con bibliografía regional, identificándose 304 referencias. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se evaluaron 120 artículos a texto completo y se incluyeron 79 en la síntesis cualitativa.

Resultados: La evidencia confirma que las olas de calor se asocian con un incremento en los ingresos hospitalarios de pacientes con asma y elevada frecuencia en las consultas con dermatitis atópicas, en pacientes de edad pediátrica. Los mecanismos identificados incluyen: intensificación de la producción y dispersión de polen, sinergia con contaminantes atmosféricos, disrupción de la barrera epitelial y activación de receptores de potencial transitorio.

Conclusiones: La falta de protocolos de estudio bien definidos para abordar a los pacientes alérgicos durante una ola de calor es una brecha no sólo en México y América Latina, sino en todo el mundo. Dentro de las principales limitaciones destacan: la falta de definiciones estandarizadas, la escasez de modelos de análisis multi-exposición y la carencia de estrategias integrales de mitigación urbana y adaptación clínica que protejan a los grupos más vulnerables. En el caso de la rinitis alérgica, los datos disponibles aún no son concluyentes en cuanto a las exacerbaciones relacionadas con olas de calor.

Palabras clave: Ola de calor; Cambio climático; Salud pública; Enfermedades respiratorias; Asma; Dermatitis atópica; Pacientes pediátricos; México; América latina; Rinitis alérgica.

Abstract

Background: The increasing frequency and intensity of heat waves, as a consequence of climate change, represents a growing risk to public health, particularly in populations with allergic and respiratory diseases.

Objective: A review to describe the available evidence on the relationship between heat waves and the exacerbation of allergic diseases, with emphasis on the environmental and pathophysiological mechanisms involved.

Methods: A structured search was conducted in Scopus and Web of Science (2015–2025), complemented with regional literature, identifying 304 references. After applying inclusion and exclusion criteria, 120 full-text articles were assessed, and 79 were included in the qualitative synthesis.

Results: Evidence confirms that heat waves are associated with an increase in hospital admissions for asthma and with more frequent consultations for atopic dermatitis in pediatric patients. The mechanisms identified include intensified pollen production and dispersal, synergy with air pollutants, disruption of the epithelial barrier, and activation of transient receptor potential (TRP) channels.

Conclusions: The lack of well-defined study protocols for managing allergic patients during heat waves represents a gap not only in Mexico and Latin America but also worldwide. Key limitations include the absence of standardized definitions, the scarcity of multi-exposure analysis models, and the lack of comprehensive strategies for urban mitigation and clinical adaptation to protect the most vulnerable groups. In the case of allergic rhinitis, the available data remain inconclusive regarding exacerbations associated with heat waves.

Keywords: Heat wave; Climate change; Public health; Respiratory disease; Asthma; Atopic dermatitis; Pediatric patients; Mexico; Latin america; Allergic rhinitis.

ANTECEDENTES

Definición de olas de calor

Las olas de calor son períodos de calor extremo que pueden tener impactos significativos en la salud humana y el medio ambiente.¹⁻³ En términos sencillos una “ola de calor” se refiere a un periodo de 2 o más días consecutivos en los que la temperatura aparente mínima diaria (la temperatura real ajustada a la humedad) en una ciudad en particular excede el percentil 85 de las temperaturas históricas observadas y pueden variar dependiendo del clima local y la época del año.⁴⁻⁸

Contexto global y local

Para la Ciudad de México (2 250 msnm) se toma de umbral de temperatura los 30° C durante tres días consecutivos o más y una temperatura mínima de 24° C promedio. Estos eventos ocurren al final de la estación seca alcanzando su máxima incidencia en los meses de abril y mayo, seguidos por marzo y junio cuando la humedad relativa alcanza un mínimo (~20%).^{9,10}

Estudios revelan que las olas de calor han ido en incremento desde los años noventa en la Ciudad de México acompañado de un marcado crecimiento de la población de la capital de 8.5 a 16.5 millones de habitantes.¹¹

Se espera que el aumento de la temperatura media del aire provoque incrementos en la ocurrencia e intensidad de eventos de calor extremo. Es probable que un día más caluroso anual que se presenta una vez cada 20 años, se convierta en un evento que suceda una vez cada 2 años en las regiones del oeste de América del Norte, América Central y México.¹²

Justificación: relevancia en enfermedades alérgicas

Las olas de calor tienen implicaciones significativas para el medio ambiente y la salud humana, incluidos los pacientes con enfermedades atópicas. Como consecuencia, la frecuencia y la intensidad de las enfermedades alérgicas están creciendo de forma preocupante en todo el mundo, debido a los cambios climáticos extremos. Las afecciones más comunes se manifiestan en el sistema respiratorio como rinitis, bronquitis, daño a la barrera epitelial e irritación de las mucosas.^{13,14}

Asimismo, es probable que cambien los patrones de distribución de especies de plantas alergénicas y se presente una alteración en la temporalidad de las emisiones de polen. Los cambios en el uso del suelo también juegan un papel importante para algunas especies alergénicas diseminadas.¹⁵

Es necesario realizar más investigaciones sobre los efectos en la salud a corto y largo plazo derivado del cambio climático, incluidas las olas de calor. Las estrategias de adaptación, incluida la mitigación del calor y la preparación para desastres, identificando a los grupos vulnerables para brindar la mejor atención a los pacientes con el objetivo de reducir las tasas de mortalidad y morbilidad relacionadas a estos fenómenos.

El objetivo de este escrito fue realizar una revisión bibliográfica con el fin de describir la evidencia disponible sobre la relación entre olas de calor y la exacerbación de enfermedades alérgicas, con énfasis en los mecanismos ambientales y fisiopatológicos implicados.

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Se realizó una revisión de la literatura científica con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar la evidencia disponible sobre la relación entre olas de calor y la incidencia, prevalencia o exacerbación de enfermedades alérgicas en poblaciones humanas.

Bases de datos y periodo de estudio

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Scopus y Web of Science, entre enero de 2015 y mayo de 2025. Se utilizaron combinaciones de palabras clave y operadores booleanos como:

- (“heat waves” OR “heatwave” OR “high temperature”) AND (“allergy” OR “allergies” OR “allergic rhinitis” OR “asthma” OR “hypersensitivity” OR “atopic dermatitis”) AND (“climate change” OR “extreme weather”)

Se filtraron los resultados para incluir únicamente artículos en inglés y español, con acceso al texto completo.

Criterios de inclusión y exclusión

Para definir los estudios incluidos en esta revisión, se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis que abordan explícitamente la relación entre olas de calor y manifestaciones alérgicas, incluidas las respiratorias, cutáneas o sistémicas. También se consideraron investigaciones realizadas en contextos urbanos o rurales, sin restricción geográfica. Por otro lado, se excluyeron estudios experimentales en animales o modelos celulares, artículos sin datos específicos sobre temperaturas extremas, publicaciones duplicadas, editoriales, comentarios y otros documentos sin análisis empírico.

RESULTADOS

Se identificaron 304 registros en las bases de datos consultadas, de los cuales, tras la eliminación de duplicados y el proceso de cribado por título y resumen, se evaluaron 120 artículos en texto completo. Finalmente, 79 estudios cumplieron con los criterios de inclusión y fueron analizados en detalle. Los resultados se organizan en tres apartados principales: (1) la descripción de los mecanismos climáticos que dan origen a las olas de calor y su relevancia epidemiológica, (2) el impacto ambiental y ecológico en la producción y dispersión de polen, la dinámica de contaminantes atmosféricos y otros factores moduladores, y (3) la repercusión en la salud humana, con énfasis en enfermedades respiratorias y dermatológicas de origen alérgico. Esta estructura permite integrar los hallazgos desde el nivel climático y ecológico hasta las manifestaciones clínicas, facilitando la comprensión de la compleja relación entre olas de calor y enfermedades alérgicas.

Origen y mecanismos climáticos de las olas de calor

En 1850, al comienzo de la revolución industrial, las emisiones globales de carbono eran aproximadamente 200 millones de toneladas. Desde entonces, con el aumento de la actividad humana y la población, han crecido exponencialmente de 6 mil millones en 1950 a 37 mil millones de toneladas en el año 2021.¹⁶

Emisiones de gases de efecto invernadero

Al quemarse los combustibles fósiles, emiten gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), metano y óxidos nitrosos, que atrapan el calor y aumentan las temperaturas globales.¹⁷⁻¹⁹

Este incremento provoca una elevación en las concentraciones de ozono y de partículas a nivel del suelo, un mayor uso de la energía del carbón para producir energía para la refrigeración.²⁰ Como resultado, se han alterado los patrones climáticos en todo el mundo, como la frecuencia y la severidad de inundaciones, los periodos de sequías, la intensidad de incendios forestales y cambios en los ciclos de producción agrícola.

Además, los cambios de temperatura son impulsores del aumento del nivel del mar, el deshielo de los glaciares polares. Incluso, se cree que el calentamiento de los océanos es un factor que impulsa el aumento de la tasa de intensificación observada en las tormentas tropicales.^{21,22}

Eventos históricos y epidemiológicos

Las olas de calor son fenómenos que han cobrado relevancia en la historia reciente. Se han convertido en una prioridad de salud pública, destacando la ola de calor de Chicago en 1995, que causó 696 muertes, así como la gran ola de calor que afectó a 16 países europeos en el verano del 2003, el cual fue el periodo más cálido de los últimos 500 años²³ y provocó 70.000 muertes relacionadas a este evento climático.^{24,25}

En América Latina se han reportado incluso 8294 muertes asociadas a los eventos de olas de calor, los cuales tuvieron lugar entre los años 2010 y 2018.²⁶

Cambio climático e incremento de temperatura a nivel global

En el caso de la temperatura global en 2022, la cifra de aumento era de 0.89°C por encima de las temperaturas promedio observadas entre 1951 y 1980. Aunque un aumento de 0.89°C puede parecer pequeño, ha tenido efectos desestabilizadores sobre el sistema climático del planeta.²⁷

Otra consecuencia del aumento de la temperatura global es el fenómeno conocido como islas de calor (Urban Heat Island), el cual se define como la fluctuación de temperatura diaria y anual muy alta en la parte central de las ciudades que experimentan temperaturas más altas debido a la capacidad de los edificios, carreteras y otras infraestructuras para absorber y reemitir calor.²⁸ Un factor socioeconómico agregado es la falta de espacios verdes en estas áreas que también contribuye al aumento de las temperaturas, las zonas de bajos ingresos presentan un 15.2% menos de cobertura de árboles y son 1.5°C más cálidos que los bloques de altos ingresos,^{29,30} en contraste con la periferia que se refiere a ámbitos rurales o con vegetación donde el clima es más frío.^{31,32} Estos aumentos de temperatura cabe recalcar están presentes tanto en horario diurno y nocturno.³³

Islas de calor urbano

En las grandes ciudades estadounidenses con condiciones climáticas favorables, las diferencias de temperatura entre la ciudad y los suburbios pueden superar los 12 °C, mientras que en las ciudades europeas alcanzan con frecuencia los 10 °C. En México la diferencia de temperatura es de 6 a 7 °C en promedio llegando hasta 10°C.^{34,35}

Este fenómeno está estrechamente ligado con la actividad urbana, en la ciudad de México la región donde más se observa, es la parte del centro-norte de la ciudad (Alcaldías Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez), siendo estas las más consolidadas, más densas y de mayor actividad económica (**Figura 1**).³²

Repercusión ambiental y ecológica

La vulnerabilidad de las personas al cambio climático está determinada por el grado y tipo de exposición, su sensibilidad y su capacidad adaptativa como la función respiratoria, el nivel de actividad física y el tipo de material del que está hecha la ropa que se usa, así como por factores ambientales, como la temperatura, la humedad, la radiación solar, la velocidad del viento y la ventilación.^{35,36} También es afectada por los determinantes sociales de salud, los cuales incluyen la edad, nivel de ingresos, nivel de aislamiento social, permanencia en áreas sin aire acondicionado, así como vivir en apartamentos del último piso y con ventanas de un solo panel sin ser abatibles, que pueden aumentar el riesgo de enfermedades causadas por el calor. Asimismo, las personas que viven en ciudades corren mayor riesgo de sufrir los efectos del aumento de temperatura debido a la isla de calor.¹³

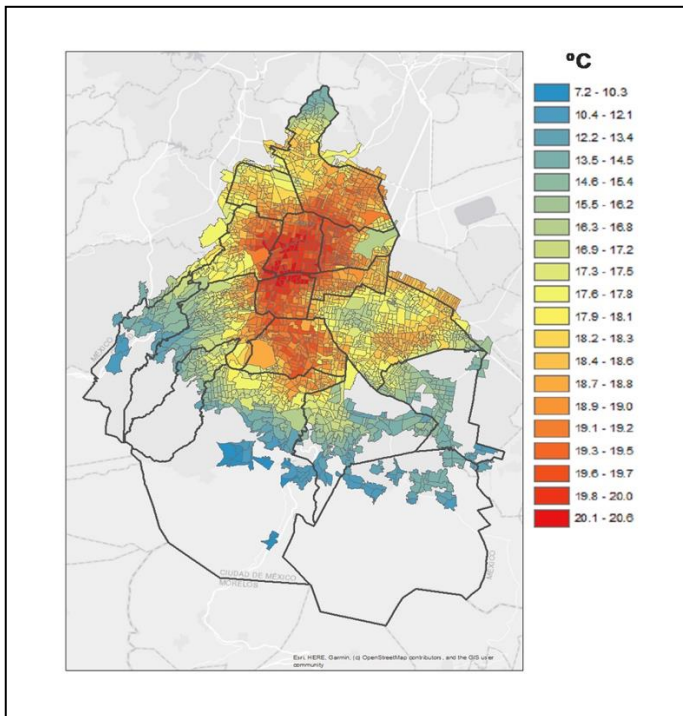


Figura 1. Isla de calor en la Ciudad de México. Obtenido de Barrera Alarcón et al. 2022.³²

Las poblaciones con mayor riesgo de sufrir enfermedades relacionadas con el calor son las que se encuentran en los extremos de la vida, los recién nacidos, los niños, las embarazadas, las personas adultas mayores, las personas con enfermedades crónicas no transmisibles, las personas con discapacidades y las que realizan actividades al aire libre como los trabajadores agrícolas, los trabajadores de la construcción o los deportistas, estos pueden estar en situación de mayor vulnerabilidad a los efectos del calor extremo.³⁷

Respecto a los trabajadores agrícolas, un estudio encontró que la mortalidad ocupacional relacionada con el calor es 35 veces mayor en comparación con los trabajadores de otras industrias,³⁸ ya que con frecuencia están expuestos a condiciones ambientales cálidas que exceden los estándares internacionales.³⁹⁻⁴¹

Alteraciones fenológicas en las plantas

Las olas de calor proveen condiciones favorables para el desarrollo y producción de polen y juegan un papel crucial en la dispersión de este. Los estudios han resaltado la relación entre los patrones climáticos, enfatizando el impacto de las condiciones secas y cálidas. Se sabe que los rasgos fenológicos de las plantas (como la floración, la formación de hojas y brotes, la producción de frutos y polen) son muy sensibles al estrés ambiental y, especialmente, a la variabilidad de la temperatura.⁴²⁻⁴⁴

En primavera es donde se ha observado el patrón mencionado, ya que las temperaturas más altas pueden llevar a un aumento en la liberación de polen en la atmósfera.⁴⁵

El cambio climático condiciona un incremento del dióxido de carbono atmosférico (CO₂) y de la temperatura, la cual causa cambios en la distribución geográfica de ciertas especies de plantas y cambios en la longitud de las

estaciones polínicas globales, con el aumento en la producción de pólenes y el incremento de su alergenidad. Zhang y colaboradores han descrito un alargamiento de la estación polínica de Ambrosia en Norteamérica, que son más pronunciadas en el norte y algunas regiones de Canadá.^{46,47}

Producción y dispersión de polen

En un estudio retrospectivo se analizó datos de polen en el aire de 17 sitios en el hemisferio norte, abarcando tres continentes. Los datos se evaluaron en el contexto de los cambios recientes en las temperaturas máxima (Tmax) y mínima (Tmin) debido al cambio climático antropogénico. Los resultados mostraron un aumento significativo en el polen acumulativo estacional y en la carga anual de polen, así como un incremento en la duración de la temporada de polen, con un aumento promedio de 0.9 días por año. Los aumentos anuales en Tmax y Tmin se asociaron significativamente con un incremento en la carga de polen estacional, sugiriendo que el incremento de las temperaturas extremas está relacionado con temporadas de polen más largas e intensas, lo que provoca una mayor duración y severidad de los síntomas en pacientes con sensibilización a aeroalérgenos.⁴⁸

Australia tiene una de las tasas más altas en la prevalencia de rinitis alérgica y asma, muchas personas son afectadas por los cambios en la distribución de aeroalérgenos. Estudios realizados en Australia han demostrado relaciones entre el polen de gramíneas, la exposición a esporas de hongos y las hospitalizaciones por asma.^{49,50}

Como resultado del cambio climático, es probable que cambien los patrones de hábitat de las plantas y la distribución de sus especies, con una migración gradual hacia el hemisferio norte y el hemisferio sur. Los cambios en el uso del suelo también juegan un papel importante para algunas especies alergénicas diseminadas, como las gramíneas.¹⁵

Incendios forestales y humo

El cambio climático intensifica los riesgos para la salud que ocasionan los incendios, al aumentar la frecuencia y gravedad de los eventos de calor extremo. Las olas de calor combinadas con sequías favorecen la ocurrencia de los incendios y los hace más difíciles de controlar, lo que crea una sinergia peligrosa que amplifica los riesgos para la salud.⁵¹

Las variables meteorológicas que, usualmente se asocian al clima de incendios forestales son: la temperatura del aire, la humedad relativa baja, velocidad del viento, y precipitación. Estas variables son controladas por patrones del clima de gran escala.

Los patrones del clima, asociados a incendios forestales, tienen en común la advección de aire caliente y seco. Intuitivamente se asume que los incendios forestales se dan durante o en los días subsiguientes a las olas de calor.⁵²

Investigaciones sugieren que el incremento de la temperatura global hará que estos eventos lleguen a ser más frecuentes, el humo de incendios resulta en contaminación del aire que afecta a la salud y bienestar de miles de personas.^{53,54}

La exposición al humo puede causar irritación ocular o de garganta, grave dificultad para respirar en pacientes con asma y otras enfermedades respiratorias. Los impactos a la salud por la exposición de contaminantes ambientales de los incendios forestales son debido a varios factores, como su composición química y la cantidad de su concentración, la intensidad y duración a la exposición.⁵⁵

El humo de los incendios forestales es una mezcla compleja de miles de compuestos, principalmente PM 2.5, PM10, CO₂, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, que contribuyen a aumentar la contaminación del aire a nivel local y regional. En múltiples estudios, la contaminación del aire causada por el humo de los incendios forestales se asoció con más exacerbaciones de asma, visitas a urgencias y hospitalizaciones por bronquitis, disnea y síntomas de EPOC.⁵⁶ En lugares como Corea del Sur, en Christchurch, Nueva Zelanda; Sao Paulo, Brasil, las altas temperaturas pusieron en peligro el efecto de la contaminación por PM10 con una razón de tasas (RR) = 1.60% (IC del 95%: 0.74–2.46); en ciudades italianas, con RR = 2.54% (IC del 95%: 1.31–3.78) para la cohorte de 35+ años.⁵⁶

Se demostró un efecto sinérgico del calor y la contaminación atmosférica sobre la mortalidad en las olas de calor extremadamente largas e intensas en Moscú, Rusia, acompañadas de un incendio forestal en el verano de 2010.⁵⁶ Los principales contaminantes estimados fueron PM10 y O₃. La principal ola de calor atmosférica duró 44 días, con temperaturas medias de 24 h que oscilaron entre 24 °C y 31 °C y niveles de PM10 que superaron los 300 µg/m³ en varios días. Se encontró un aumento de 339 muertes en Moscú por enfermedades respiratorias en comparación con el mismo período del verano de 2009, con un RR = 2,05 (IC del 95 %: 1,80-2,39).⁵⁶

Migración de himenópteros y garrapatas

Es importante mencionar a las enfermedades causadas por especies terrestres venenosas, que se ven afectadas por las olas de calor, tal es el caso de los himenópteros (abejas, abejorros, avispas y hormigas) que pueden abrirse nuevas ubicaciones geográficas y por lo tanto nuevas sensibilizaciones. Estas especies terrestres son ectodermos estrechamente vinculados a la temperatura ambiente, y que el cambio climático las está alejando del Ecuador.⁵⁷

Por mencionar un ejemplo, la hormiga *Solenopsis invicta* (una hormiga roja de fuego) aumentaría su distribución en todas las regiones geográficas, con proyecciones generales de un aumento del +16 % en su área de distribución, múltiples picaduras en individuos sensibles pueden promover la liberación de histamina y provocar un espectro de síntomas que van desde náuseas, vómitos y mareos hasta angioedema y paro respiratorio, y el 10 % de las víctimas presentan algún grado de reacción de hipersensibilidad.⁵⁸

Al igual las picaduras de garrapatas de la especie *Amblyomma americanum* y otras especies conducen a la sensibilización al alfa gal, un carbohidrato presente en el tracto gastrointestinal de la garrapata; dada que la alfa gal también está presente en muchas carnes rojas, las personas sensibilizadas pueden experimentar reacciones alérgicas después

de comer carne de res y otras carnes de mamíferos. En un clima más cálido se ha observado que las garrapatas prosperan y se propagan a áreas y regiones nuevas.⁵⁹

Debido al aumento de las temperaturas a nivel global, la repercusión en las especies venenosas terrestres es de gran importancia, especies con ciertas deficiencias morfológicas o termorreguladoras para adaptarse al cambio climático disminuirán su población, corriendo el riesgo de la extinción y por otro lado las especies con capacidad migratoria cambiarían su área de distribución, lo cual representa un nuevo riesgo a la salud pública, ya que nos enfrentaremos a encuentros con especies venenosas que pueden ocasionar cuadros de anafilaxia o hipersensibilidad en poblaciones donde previamente no se presentaban.⁵⁷

Repercusión en la salud humana

Asma y exacerbaciones respiratorias

Los pulmones están en contacto directo con el medio ambiente y son una especie de órgano portal del cambio climático.⁶⁰ Sabemos que las olas de calor aumentan significativamente la morbilidad y la mortalidad en pacientes con enfermedades pulmonares crónicas (enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, hipertensión pulmonar, fibrosis pulmonar idiopática, entre otras).⁴

Se examinó la asociación entre las olas de calor y el asma en el estado de Maryland entre 2000 y 2012, descubriéndose que la exposición al calor extremo se asociaba con un aumento del 3% del riesgo de hospitalización por asma el mismo día, el incremento del riesgo de hospitalización se dio en todos los grupos de edad.⁶¹

La población pediátrica es el grupo más vulnerable a las olas de calor, esto debido a que el proceso de termorregulación es distinto al de los adultos, ya que cuentan con un cuerpo más pequeño y una mayor superficie de piel con relación a su masa corporal, mayor exposición a riesgos medioambientales, una mayor vulnerabilidad biológica, y una larga vida con muchos años de altas temperaturas por delante, así como una menor capacidad para regular su temperatura central.⁶²

En diversos artículos se menciona el incremento de los componentes del efecto invernadero (como dióxido de nitrógeno [NO₂], dióxido de azufre [SO₂], ozono [O₃]) y una mayor concentración de partículas finas de polvo en el aire (materia particulada 2.5, 10) en los episodios de aumento de temperatura u olas de calor, la interacción sinérgica del calor y las concentraciones de sustancias nocivas/tóxicas en el aire provoca exacerbaciones, especialmente del asma.⁶³

Fisiopatológicamente, el estrés térmico, en combinación con un mayor grado de contaminación del aire ambiental, produce una inflamación de la mucosa bronquial, reduce el umbral de broncoconstricción, la consiguiente pérdida de líquidos por la exposición al calor contribuye además a cambios posteriores en la perfusión y la ventilación, así como la inhalación de sustancias nocivas, como los gases de efecto invernadero, causan lesiones agudas y crónicas en el tejido pulmonar.⁶⁴

Otro factor es la exposición a partículas de polvo, entre ellas PM_{2.5} y PM₁₀ que destruye la integridad de las células endoteliales a través de las vías de transducción de señales que dependen de los derivados reactivos del oxígeno (ROS) y de la proteína quinasa activada por p38 (p38-MAPK), su señalización responde a estímulos de estrés, como citoquinas proinflamatorias, radiación ultravioleta, choque térmico y choque osmótico, y están involucradas en la adaptación al estrés, la apoptosis o la diferenciación celular. El subgrupo p38 MAPK es el más involucrado en la inflamación de las vías respiratorias, la amplificación y persistencia de la limitación del flujo aéreo que es el sello distintivo del asma, y resultando en la remodelación bronquial en el asma, como el engrosamiento de la membrana basal subepitelial.^{65,66}

Durante olas de calor prolongadas, se observa un aumento de citoquinas proinflamatorias IL-6, TNF- α , IL-1, junto con la activación de neutrófilos y del sistema de coagulación, lo que puede llevar a una falla multiorgánica. Debido a esto se ha registrado mayor mortalidad durante días calurosos, vinculando una parte significativa de estas muertes al cambio climático.⁶⁷ Aunque se activan vías antiinflamatorias como la producción de IL-1Ra, IL-10 y receptores solubles de TNF, junto con la producción de ciertas proteínas de choque térmico; sin embargo, no siempre se logra compensar esta respuesta inflamatoria. (Figura 2).^{68,69}

Mecanismos fisiopatológicos

Un mecanismo adicional que se ha postulado por el cual el estrés térmico media sus efectos sobre el asma y la enfermedad alérgica son los receptores de potencial transitorios (TRP). Son una clase de canales iónicos que se encuentran en numerosos tejidos y tipos de células y son permeables a una amplia gama de cationes como Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺.⁷⁰

Los canales TRP son responsables de varias respuestas sensoriales que incluyen calor, frío, dolor, estrés, visión y gusto, pueden ser activados por estímulos físicos, mecánicos, químicos y ligandos endógenos y exógenos. Los canales

TRP tienen una amplia distribución tisular que incluye: músculo liso, epitelio, células inmunes, músculo esquelético, corazón y neuronas.⁷¹

Hay varios canales TRP y la investigación sobre sus diferentes funciones aún está en curso.⁴⁵ Hasta la fecha se han caracterizado cuatro termo-TRP que responden al calor: los TRPV1-4 se activan con diferentes niveles de calor. El TRPV1 se activa a ≥ 42 °C, el TRPV2 a ≥ 52 °C, el TRPV3 a 32 °C~39 °C y el TRPV4 a 27 °C~34 °C.⁷²

Las fibras nerviosas TRPV1-positivas inervan todo el tracto respiratorio, incluyendo la nariz, la laringe y la tráquea de las vías respiratorias superiores, el parénquima pulmonar, los alvéolos, el músculo liso y los vasos sanguíneos.⁷³

Se han encontrado canales TRPV1 sobre expresados en las vías respiratorias de pacientes con asma refractaria, el TRPV4 se ha relacionado con la sensibilización fúngica y el asma en niños.⁶⁵ También se ha demostrado que el calor extremo induce broncoconstricción y desencadena síntomas de asma al estimular la vía refleja colinérgica y los nervios sensoriales de fibra C broncopulmonar vagal.⁶⁷

Dermatitis atópica y enfermedad de la piel

El cambio climático tiene múltiples efectos en la piel, numerosos factores climáticos tales como la sequedad ambiental, el viento, el frío, el sol, cambios bruscos de temperatura, el uso de aire acondicionado y la contaminación ambiental son considerados por los pacientes como factores desencadenantes importantes para padecer piel sensible.⁷⁴

De hecho, la barrera cutánea desestructurada de la persona con atopía facilita el paso de estos alérgenos de contacto e irritantes a través de la piel. Este daño tiene su origen en ciertas disfunciones específicas de la barrera cutánea, tales como el déficit de caspasa-14 y el déficit de filagrina, estos se relacionan con una mayor sensibilidad a la radiación UV, lo cual puede impactar negativamente a largo plazo a estos pacientes.⁷²

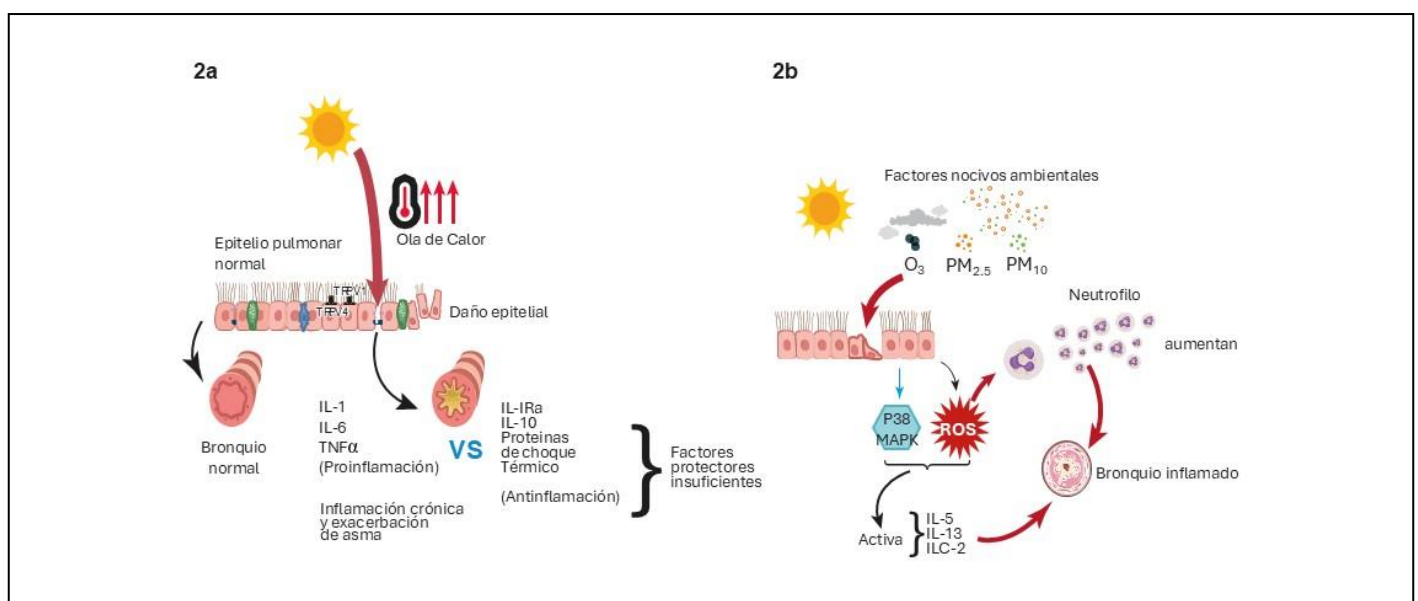


Figura 2. A) Efectos de la ola de calor en el epitelio pulmonar y su repercusión en el bronquio. **B)** Factores ambientales relacionados a las olas de calor y su efecto en el epitelio pulmonar. Autores: Dra. M.L. Cid del Prado, Dr. Alejandro Sandoval.

Un análisis de series temporales encontró que tanto las temperaturas bajas como las altas se asociaron con un aumento de las visitas ambulatorias por DA, especialmente en el grupo de edad pediátrica de 14 años o menos. Los niveles de filagrina de los niños suelen ser más bajos, con mayor hiperplasia epidérmica.⁷⁵

La baja humedad ambiental produce un aumento de la permeabilidad cutánea, un engrosamiento de la epidermis como mecanismo de defensa y una mayor producción de mediadores de la inflamación (IL4, IL5, IL13). Además, se ha demostrado en ratones que en condiciones de baja humedad ambiental aumentan los mastocitos y la histamina en la dermis y se producen más conductas de prurito y rascado.⁷⁴

Aunado a esto, la exposición de la piel a la radiación ultravioleta (UV) y a los contaminantes ambientales, ocasiona un mayor estrés oxidativo, envejecimiento prematuro de la piel y anomalías de la barrera cutánea.⁷⁶ Como ejemplo, la exposición a la radiación UV induce la generación de radicales libres de tipo ROS que pueden causar daño celular a proteínas, lípidos y ADN. Además, está descrito que la quemadura solar puede ser un factor de exacerbación del eccema.^{72,77}

Las temperaturas altas inducen la producción de citoquinas proinflamatorias y mediadores lipídicos como la interleucina-1 β , la linfopoyetina del tímica estromal (TSLP) y la prostaglandina E2, las cuales ocasionan picazón y brotes de dermatitis atópica.⁷⁶

Un estudio reciente examinó el papel de TRPV3 en la picazón inducida por calor en eccema atópica. TRPV3, un canal TRP termosensible, se expresa en los queratinocitos y se activa con el calor. Los queratinocitos de pacientes con eccema atópica tuvieron una mayor expresión y una función hiperactiva de TRPV3. La activación de TRPV3

condujo a una mayor secreción de TSLP, factor de crecimiento nervioso y prostaglandina E2, lo que sugiere que TRPV3 es un objetivo terapéutico para la picazón inducida por calor (**Figura 3**).⁷⁶

A pesar de que se han desarrollado múltiples estudios centrados en los mecanismos celulares de la dermatitis atópica, persiste la necesidad de estudios clínicos que documenten series de casos ocurridos durante episodios de olas de calor en distintas regiones de México. Esta información es fundamental para comprender el impacto ambiental en la expresión clínica de la enfermedad y para desarrollar estrategias de prevención y manejo específicas.

Estrategias de adaptación y mitigación

Es vital identificar a los grupos vulnerables al calor y contar con sistemas de vigilancia y alerta para detectar condiciones meteorológicas peligrosas. Existen dos tipos de sistemas de alerta: uno que se activa con índices definidos de mortalidad y morbilidad,⁴ y otro basado en previsiones meteorológicas ordinarias.⁷⁸ **Cuadro 1**

DISCUSIÓN

La evidencia confirma que las olas de calor, como manifestación del cambio climático, ejercen un impacto significativo en la salud humana, en particular en la expresión y exacerbación de enfermedades alérgicas, no se han presentado estudios que demuestren el grado de impacto en este campo. A nivel global, contados estudios epidemiológicos han documentado el aumento en hospitalizaciones por asma y un empeoramiento de la dermatitis atópica durante periodos de calor extremo.^{61,67,76} Estos hallazgos coinciden en señalar que la interacción del calor con contaminantes atmosféricos, los cuales cada día

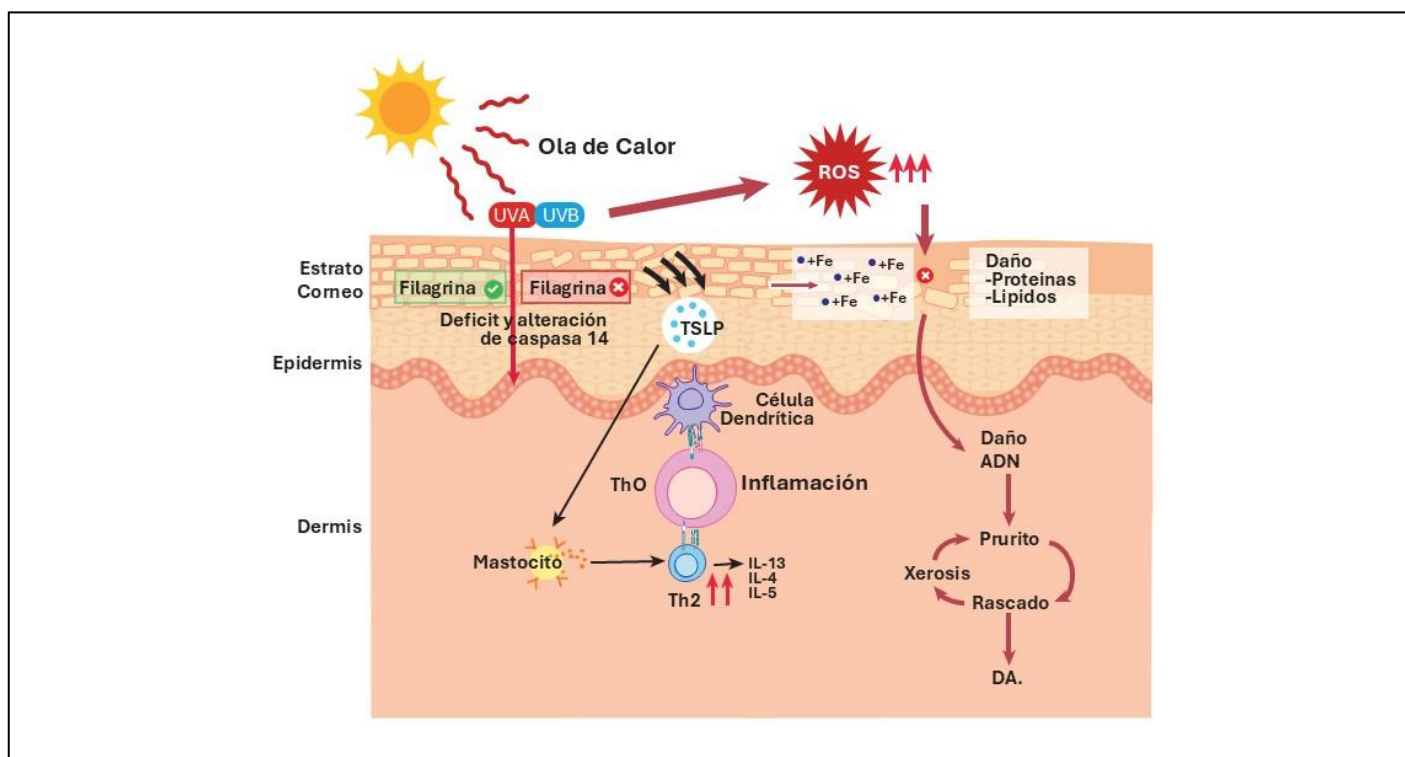


Figura 3. Alteraciones de la piel por las olas de calor. Autores: Dra. M.L. Cid del Prado, Dr. Alejandro Sandoval.

Cuadro 1. Estrategias de adaptación y mitigación del calor.

Estrategias de adaptación	Usar ropa protectora de colores claros. Aumentar la hidratación Reducir la actividad al aire libre. Abrir puertas y ventanas para mejorar la circulación del aire. Usar rociadores de agua y usar ventiladores. Uso de aire acondicionado. Pausas de hidratación obligatorias para beber agua y descansar en áreas sombreadas y cambiar las horas de trabajo a horas más frescas del día (trabajadores agrícolas y de la construcción).
Estrategias de adaptación urbana	Plantación de árboles y espacios de áreas verdes. Implementación de techos verdes en edificios. Techos de las viviendas en colores claros para reflejar el calor. Uso de agregados reflectantes aglutinantes o revestimientos superficiales en las áreas pavimentadas. Uso de transporte urbano, metro, bicicleta y caminata para disminuir la cantidad de emisiones de CO ₂ per cápita.

aumentan, y los cambios en los patrones de floración de las plantas, constituyen un mecanismo clave en la exacerbación de enfermedades respiratorias y cutáneas. Cabe recalcar que no se encontró relación con el calor y la exacerbación de la rinitis alérgica.

En regiones de Europa, Norteamérica y Australia se han establecido asociaciones robustas entre olas de calor, producción y dispersión de polen, lo cual ocasiona un aumento en la manifestación de síntomas respiratorios.^{47,48} Asimismo, los incendios forestales, cada vez más frecuentes en escenarios de calor extremo, generan humo rico en partículas finas (PM2.5, PM10) que se han vinculado con exacerbaciones graves de asma^{54,55}. Por otro lado, los cambios en la distribución de himenópteros y garrapatas relacionados con la temperatura, amplían las áreas de riesgo de anafilaxia y nuevas alergias, como el síndrome de alfa-gal^{58,59}.

En el caso de América Latina, a pesar de que se presentan condiciones climáticas que favorecen la ocurrencia de olas de calor cada vez más intensas y frecuentes, los estudios que vinculan estos eventos con manifestaciones alérgicas son escasos. La mayor parte de la literatura regional se ha enfocado en describir los fenómenos físicos como la isla de calor urbana,^{11,32} o en el impacto de la temperatura sobre la mortalidad general,³⁷ sin profundizar en el espectro alérgico. Esto contrasta con la alta prevalencia de enfermedades atópicas en la población mexicana, estimada en 40% según datos de la Secretaría de Salud,⁷⁹ lo que sugiere que los efectos de las olas de calor sobre este grupo vulnerable podrían estar subestimados.

Un aspecto crítico identificado es la falta de estudios clínicos transversales que documenten exacerbaciones de asma, dermatitis o rinitis en relación con episodios de calor extremo en contextos urbanos y rurales de México. Esta ausencia limita la generación de políticas públicas basadas en evidencia y reduce la capacidad de los profesionales de la salud para anticipar y prevenir desenlaces adversos en pacientes alérgicos.

De igual forma, si bien existen propuestas de adaptación urbana, la realidad es que en la práctica su implementación en ciudades latinoamericanas es aún incipiente. La inequidad socioeconómica representa un factor adicional de vulnerabilidad.

En este sentido, la discusión de los hallazgos describe la urgencia de investigación local y regional orientada a: (1) identificar los grupos poblacionales más vulnerables, (2) cuantificar los casos de alergia asociada a olas de calor en México y América Latina, y (3) evaluar la efectividad de intervenciones de adaptación en salud pública. Sin estos datos, la magnitud real del problema seguirá siendo incierta y las estrategias de mitigación insuficientes.

CONCLUSIONES

Los impactos del cambio climático, específicamente en lo que respecta a la temperatura, y su relación con las alergias dermatológicas y respiratorias aún son inciertos. El conocimiento actual se apoya en estudios epidemiológicos y experimentales que investigan principalmente la relación entre enfermedades respiratorias crónicas y metabólicas y factores ambientales, como las variables meteorológicas, incluidas las olas de calor.

Aunque algunos estudios sugieren una relación entre las olas de calor y diversos fenómenos fisiopatológicos, aún no se cuenta con evidencia clínica que documente de manera directa el comportamiento de pacientes alérgicos durante un evento de calor extremo.

En base a los artículos analizados en este trabajo se observa que la inestabilidad climática se intensifica cada vez más, presentando episodios de olas de calor cada vez más frecuentes con mayor intensidad y duración; repercutiendo directamente en un aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad relacionadas con estos eventos extremos.

Actualmente los estudios que muestran las repercusiones de los eventos extremos de calor relacionados con asma, dermatitis atópica y rinitis alérgica son pocos o nulos y con

datos no concluyentes o representativos, el no contar con estudios relevantes es sorprendente ya que la prevalencia de padecimientos alérgicos es de 20-40% en la población a nivel mundial.

Ante este panorama, es necesario promover investigación clínica y epidemiológica enfocada en la relación entre olas de calor y alergias, con especial atención a los grupos más vulnerables. Paralelamente, deben implementarse estrategias de mitigación y adaptación que incluyan medidas individuales, urbanas y de salud pública, tales como la creación de espacios verdes, instalar techos reflectantes y promover transporte sustentable, sistemas de alerta temprana y acciones para reducir la exposición a contaminantes.

Reconocer a las olas de calor como un factor determinante en la carga de enfermedad alérgica es esencial para proteger la salud de la población y para anticipar los retos sanitarios que impondrá el cambio climático en las próximas décadas.

DECLARACIONES

Contribución de los autores

María de la Luz Cid del Prado Izquierdo y Cindy Elizabeth de Lira Quezada: Conceptualización, curación de datos, análisis, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción del borrador original y revisión del escrito y edición. Diana Leticia Aguirre Ramírez, Hugo Alberto Azuara Trujillo, Miguel Terán Olvera: Conceptualización, curación de datos, análisis, adquisición de fondos, investigación, metodología, recursos, validación, redacción del borrador original y revisión del escrito y edición.

Agradecimientos

Al Colegio Mexicano de Inmunología Clínica y Alergia 2024-2025 por brindarnos la oportunidad de ser parte del Comité de Medio Ambiente y por su apoyo a nuestras metas propuestas.

A la Dra. Hilda Adriana Guerrero Parra y al Dr. Alejandro Sandoval Reyes, por sus sugerencias aportadas a este trabajo.

Responsabilidades éticas

Los autores declaran que este manuscrito se realizó en seguimiento a la Declaración de Helsinki.

Fuentes de financiamiento

Financiado por los miembros del Comité de Medio Ambiente y Alergias 2024.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Referencias clave

1. Araiza-Olivares GA. La isla de calor en la Ciudad de México: un análisis decadal (1950-2010). *Revista Geográfica de América Central*. 2022; (69): 415-436. doi:10.15359/rgac.69/2.15
2. Pacheco SE, Guidos-Fogelbach G, Annesi-Maesano I, et al. Climate change and global issues in allergy and immunology. *J Allergy Clin Immunol*. 2021; 148 (6): 1366-1377. doi: 10.1016/j.jaci.2021.10.011.

3. Sampath V, Aguilera J, Prunicki M, et al. Mechanisms of climate change and related air pollution on the immune system leading to allergic disease and asthma. *Sem Immunol*. 2023; 67: 101765. doi:10.1016/j.smim.2023.101765
4. Skevaki C, Nadeau KC, Rothenberg ME, et al. Impact of climate change on immune responses and barrier defense. *J Allergy Clin Immunol*. 2024; 153 (5): 1194-1205. doi:10.1016/j.jaci.2024.01.016

Permisos

Todas las Figuras y Cuadros son originales.

REFERENCIAS

1. Smith TT, Zaitchik BF, Gohlke JM. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Climatic change*. 2013; 118: 811-825. doi: 10.1007/s10584-012-0659-2
2. Wang Y, Lin L, Xu Z, et al. Have residents adapted to heat wave and cold spell in the 21st century? Evidence from 136 Chinese cities. *Environment International*. 2023; 173: 107811. doi:10.1016/j.envint.2023.107811
3. Trenberth AKE, Hoskins EB, Jones AP, et al. Observations: Surface and atmospheric climate change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. 2025. <https://opensky.ucar.edu/islandora/object/books%3A281>
4. Witt C, Schubert AJ, Jehn M, et al. The effects of climate change on patients with chronic lung disease: a systematic literature review. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2015; 112 (51-52): 878. doi: 10.3238/arztebl.2015.0878.
5. Tuerdi N, Cao X, Tang H, et al. Combined effect of heatwaves and residential greenness on the risk of stroke among Chinese adults: A national cohort study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2025; 299: 118356. doi:10.1016/j.ecoenv.2025.118356
6. Yin P, Chen R, Wang L, et al. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. *Environment International*. 2018; 121: 898-905. doi:10.1016/j.envint.2018.10.016
7. Bunting EL, Tolmanov V, Keellings D. What is a heat wave: A survey and literature synthesis of heat wave definitions across the United States. *PLOS Climate*. 2024; 3 (9): e0000468. doi:10.1371/journal.pclm.0000468
8. Mason H, King JC, Peden AE, Franklin RC. Systematic review of the impact of heatwaves on health service demand in Australia. *BMC Health Serv Res*. 2022; 22 (1): 960. doi:10.1186/s12913-022-08341-3
9. Jáuregui E. Las ondas de calor en la Ciudad de México. *Invest Geográf*. 2009; (70). doi:10.14350/ig.18078
10. Barrios-Barocio A, Peralta O, Ochoa-Moya CA, et al. Heat wave: a new characterization in terms of energy. *Front Environ Sci*. 2024; 12: 1474608. doi:10.3389/fenvs.2024.1474608
11. Araiza-Olivares GA. La isla de calor en la Ciudad de México: un análisis decadal (1950-2010). *Revista Geográfica de América Central*. 2022; (69): 415-436. doi:10.15359/rgac.69/2.15
12. Navarro-Estupiñan J, Robles-Morua A, Vivoni ER, et al. Observed trends and future projections of extreme heat events in Sonora, Mexico. *Int J Climatol*. 2018; 38 (14): 5168-5181. doi:10.1002/joc.5719
13. Córdova Sáez K. Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana: Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre- 2009, marzo- 2010. *Terra*. 2011;27(42):95-122.
14. Demain JG, Choi YJ, Oh JW. The Impact of Climate Change on the Pollen Allergy and Sporulation of Allergic Fungi. *Curr Treat Options Allerg*. 2021; 8 (1): 60-73. doi:10.1007/s40521-020-00277-5

15. d'Amato G, Chong-Neto HJ, Monge Ortega OP, et al. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy*. 2020; 75 (9): 2219-2228. doi: 10.1111/all.14476
16. Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones M, et al. Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data*. 2025; 17(3): 965-1039. doi:10.5194/essd-17-965-2025
17. Agache I, Sampath V, Aguilera J, et al. Climate change and global health: a call to more research and more action. *Allergy*. 2022; 77(5): 1389-1407. doi: 10.1111/all.16205
18. Perera F, Nadeau K. Climate change, fossil-fuel pollution, and children's health. *N Eng J Med*. 2022; 386 (24): 2303-2314. doi: 10.1056/NEJMr2117706
19. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al., eds. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press; 2021. doi:10.1017/9781009157896
20. D'Amato G, Vitale C, Lanza M, et al. Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: an update. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 2016; 16 (5): 434-440. doi:10.1097/ACI.0000000000000301
21. Knutson T, Chung MV, Vecchi G, et al. ScienceBrief Review: Climate change is probably increasing the intensity of tropical cyclones. 2021 In: *Critical Issues in Climate Change Science*, edited by: Corinne Le Quéré, Peter Liss & Piers Forster. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4570334>
22. Pacheco SE, Guidos-Fogelbach G, Annesi-Maesano I, et al. Climate change and global issues in allergy and immunology. *J Allergy Clin Immunol*. 2021; 148 (6): 1366-1377. doi: 10.1016/j.jaci.2021.10.011
23. Llamas-Velasco M, García-Díez A. Cambio climático y piel: retos diagnósticos y terapéuticos. *Actas Dermo-Sifiliográficas*. 2010; 101 (5): 401-410. doi: 10.1016/j.ad.2009.12.019
24. Whitman S, Good G, Donoghue E, et al. Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *Am J Pub Health*. 1997; 87 (9): 1515-1518. doi:10.2105/AJPH.87.9.1515
25. Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*. 2008; 331 (2): 171-U5. doi:10.1016/j.crv.2007.12.001
26. Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Emergencias En Salud: Ola de Calor y Medidas a Tomar – Revisión Preliminar*. OPS; 2019.
27. Dunn RJH, Blannin J, Gobron N, et al. Global Climate. *Bull Am Meteorol Soc*. 2024; 105 (8): S12-S155. doi:10.1175/BAMS-D-24-0116.1
28. US EPA O. *Climate Change Indicators: Heat Waves*. 2021. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-waves>
29. McDonald RI, Biswas T, Sachar C, et al. The tree cover and temperature disparity in US urbanized areas: Quantifying the association with income across 5,723 communities. *PloS one*. 2021; 16 (4): e0249715. doi: 10.1371/journal.pone.0249715
30. Anderson GB, Bell ML. Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Environ Health Perspect*. 2011; 119 (2): 210-218. doi:10.1289/ehp.1002313
31. Martínez-Martínez J. Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Ingeo*. 2014; (62): 83. doi:10.14198/INGEO2014.62.06
32. Barrera Alarcón IG, Caudillo Cos CA, Medina Fernández SL, et al. The surface urban heat island and its manifestation in the urban structure of Mexico City. *Revista de ciencias tecnológicas*. 2022; 5 (3). doi: 10.37636/recit.v5n3e227
33. Leap SR, Soled DR, Sampath V, et al. Effects of extreme weather on health in underserved communities. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2024; 133 (1): 20-27. doi:10.1016/j.anai.2024.04.018
34. Ballinas M. La isla de calor urbana y la Mitigación de la isla de calor urbana a partir de la vegetación arbórea. 2013. Publicación del Instituto de Ecología de la UNAM. https://www.researchgate.net/profile/Victor-Barradas/publication/265905412_La_isla_de_calor_urbana_y_la_vegetacion_arborea/links/542033ce0cf203f155c2b8b8/La-isla-de-calor-urbana-y-la-vegetacion-arborea.pdf
35. Jauregui E. The urban climate of Mexico City. *Urban Climatology and its applications with special regard to tropical areas*. In: 1984: 63-86. doi.org/10.3112/erdkunde.1973.04.06
36. *Olas de calor: guía para acciones basadas en la salud*. 2025. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55244>
37. *Olas de calor: guía para acciones basadas en la salud - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. 2021. <https://www.paho.org/es/documentos/olas-calor-guia-para-acciones-basadas-salud>
38. El Khayat M, Halwani DA, Hneiny L, et al. Impacts of climate change and heat stress on farmworkers' health: A scoping review. *Front Pub Health*. 2022; 10: 782811. doi: 10.3389/fpubh.2022.782811
39. Sahu S, Sett M, Kjellstrom T. Heat Exposure, Cardiovascular Stress and Work Productivity in Rice Harvesters in India: Implications for a Climate Change Future. *Ind Health*. 2013; 51 (4): 424-431. doi: 10.2486/indhealth.2013-0006
40. Gubernot DM, Anderson GB, Hunting KL. Characterizing Occupational Heat-Related Mortality in the United States, 2000-2010: An Analysis Using the Census of Fatal Occupational Injuries Database. *Am J Ind Med*. 2015; 58 (2): 203-211. doi:10.1002/ajim.22381
41. Frimpong K, Van Etten EEJ, Oosthuizen J, et al. Heat exposure on farmers in northeast Ghana. *Int J Biometeorol*. 2017; 61 (3): 397-406. doi:10.1007/s00484-016-1219-7
42. Menzel A, Sparks TH, Estrella N, et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol*. 2006; 12 (10): 1969-1976. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
43. Marselle MR, Stadler J, Korn H, et al. *Biodiversity and Health in the Face of Climate Change*. Springer Nature; 2019. doi:10.1007/978-3-030-02318-8_20
44. Damialis A, Fotiou C, Halley JM, et al. Effects of environmental factors on pollen production in anemophilous woody species. *Trees-Struct Funct*. 2011; 25 (2): 253-264. doi:10.1007/s00468-010-0502-1
45. Beggs PJ. Environmental Allergens: from Asthma to Hay Fever and Beyond. *Curr Clim Change Rep*. 2015; 1 (3): 176-184. doi:10.1007/s40641-015-0018-2
46. Garcia-Mozo H, Galan C, Jato V, et al. Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Ann Agr Env Med*. 2006; 13 (2): 209-224.
47. Zhang Y, Steiner AL. Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental United States. *Nat Commun*. 2022; 13 (1): 1234. doi:10.1038/s41467-022-28764-0
48. Ziska LH, Makra L, Harry SK, et al. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *Lancet Planetary Health*. 2019; 3 (3): e124-e131. doi: 10.1016/S2542-5196(19)30219-0.
49. Tham R, Dharmage SC, Taylor PE, et al. Outdoor fungi and child asthma health service attendances. *Pediatr Allergy Immunol*. 2014; 25 (5): 439-449. doi:10.1111/pai.12257
50. Erbas B, Akram M, Dharmage SC, et al. The role of seasonal grass pollen on childhood asthma emergency department presentations. *Clin Exp Allergy*. 2012; 42 (5): 799-805. doi:10.1111/j.1365-2222.2012.03995.x
51. Rossiello MR, Szema A. Health Effects of Climate Change-induced Wildfires and Heatwaves. *Cureus*. 2019. doi:10.7759/cureus.4771

52. Pazmiño D. Diferencias en el clima que produce incendios forestales y de olas de calor en Victoria, Australia. *Fi.* 2020; 1 (1): 26-39. doi:10.29166/revfig.v1i1.1419
53. Jolly WM, Cochrane MA, Freeborn PH, et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nat Commun.* 2015; 6 (1): 7537. doi:10.1038/ncomms8537
54. Vardoulakis S, Jalaludin BB, Morgan GG, et al. Bushfire smoke: urgent need for a national health protection strategy. *Medical Journal of Australia.* 2020; 212 (8): 349. doi:10.5694/mja2.50511
55. Williamson GJ, Bowman DMJS, Price OF, et al. A transdisciplinary approach to understanding the health effects of wildfire and prescribed fire smoke regimes. *Environ Res Lett.* 2016; 11 (12): 125009. doi:10.1088/1748-9326/11/12/125009
56. Grigorieva E, Lukyanets A. Combined Effect of Hot Weather and Outdoor Air Pollution on Respiratory Health: Literature Review. *Atmosphere.* 2021; 12 (6). doi:10.3390/atmos12060790
57. Needleman RK, Neylan IP, Erickson T. Potential environmental and ecological effects of global climate change on venomous terrestrial species in the wilderness. *Wildern Environment Med.* 2018; 29 (2): 226-238. doi: 10.1016/j.wem.2017.11.004
58. Demain JG, Minaei AA, Tracy JM. Anaphylaxis and insect allergy. *Curr Opin Allergy Clin Immunol.* 2010; 10 (4): 318-322. doi:10.1097/ACI.0b013e32833a6c72
59. Patel C, Iweala OI. 'Doc, will I ever eat steak again?': diagnosis and management of alpha-gal syndrome. *Current Opin Pediatr.* 2020;32(6):816-824. doi:10.1097/MOP.0000000000000955
60. Kenny G, Yardley J, Brown C, Sigal R, Jay O. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Can Med Assoc J.* 2010; 182 (10): 1053-1060. doi:10.1503/cmaj.081050
61. Soneja S, Jiang C, Fisher J, et al. A. Exposure to extreme heat and precipitation events associated with increased risk of hospitalization for asthma in Maryland, USA. *Environment Health.* 2016; 15: 1-7. doi: 10.1186/s12940-016-0142-z
62. Uibel D, Sharma R, Piontkowski D, et al. Association of ambient extreme heat with pediatric morbidity: a scoping review. *Int J Biometeorol.* 2022; 66 (8): 1683-1698. doi:10.1007/s00484-022-02310-5
63. Anenberg SC, Haines S, Wang E, et al. Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: a systematic review of epidemiological evidence. *Environ Health.* 2020; 19: 130. doi:10.1186/s12940-020-00681-z
64. Monteiro A, Carvalho V, Oliveira T, et al. Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal. *Int J Biometeorol.* 2013; 57 (1): 155-167. doi:10.1007/S00484-012-0543-9
65. Wang T, Chiang E, Moreno-Vinasco L, et al. Particulate Matter Disrupts Human Lung Endothelial Barrier Integrity via ROS- and p38 MAPK-Dependent Pathways. *Am J Resp Cell Mol Biol.* 2010; 42 (4): 442-449. doi:10.1165/rcmb.2008-0402OC
66. Pelaia C, Vatrella A, Gallelli L, et al. Role of p38 Mitogen-Activated Protein Kinase in Asthma and COPD: Pathogenic Aspects and Potential Targeted Therapies. *DDDT.* 2021; 15: 1275-1284. doi:10.2147/DDDT.S300988
67. Sampath V, Aguilera J, Prunicki M, et al. Mechanisms of climate change and related air pollution on the immune system leading to allergic disease and asthma. *Sem Immunol.* 2023; 67: 101765. doi:10.1016/j.smim.2023.101765
68. Skevaki C, Nadeau KC, Rothenberg ME, et al. Impact of climate change on immune responses and barrier defense. *J Allergy Clin Immunol.* 2024; 153 (5): 1194-1205. doi:10.1016/j.jaci.2024.01.016
69. Heled Y, Fleischmann C, Epstein Y. Cytokines and their role in hyperthermia and heat stroke. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 2013; 24 (2): 85-96. doi:10.1515/jbcpp-2012-0040
70. Zhang M, Ma Y, Ye X, et al. TRP (transient receptor potential) ion channel family: structures, biological functions and therapeutic interventions for diseases. *Sign Transduct Targ Ther.* 2023; 8 (1): 261. doi: 10.1038/s41392-023-01464-x
71. Martínez LG, Cárdenas RDS, García SV, et al. Transient receptor potential ion channels and their leading role in analgesic therapy. *Rev Cubana Invest Bioméd.* 2015; 34 (3): 278-288.
72. Garcia-Bertran S, Serra-Baldrich N, Baselga E, et al. Agentes externos en la dermatitis atópica: nuevos conceptos en multiprotección. *Piel.* 2017; 32 (6): 339-348. doi:10.1016/j.piel.2017.03.002
73. Çelebi Sözen Z, Treffeisen ER, Özdel Öztürk B, et al. Global warming and implications for epithelial barrier disruption and respiratory and dermatologic allergic diseases. *J Allergy Clin Immunol.* 2023; 152 (5): 1033-1046. doi:10.1016/j.jaci.2023.09.001
74. Llamas-Velasco M, García-Díez A. Cambio climático y piel: retos diagnósticos y terapéuticos. *Actas Dermo-Sifiliográficas.* 2010; 101 (5): 401-410. doi:10.1016/j.ad.2009.12.019
75. Chen Z, Li M, Lan T, et al. Effects of ambient temperature on atopic dermatitis and attributable health burden: a 6-year time-series study in Chengdu, China. *PeerJ.* 2023; 11: e15209. doi:10.7717/peerj.15209
76. Hui-Beckman J, Goleva E, Leung D, et al. The impact of temperature on the skin barrier and atopic dermatitis. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2023; 131 (6): 713-719. doi:10.1016/j.anai.2023.08.007
77. Mildner M, Jin J, Eckhart L, et al. Knockdown of Filaggrin Impairs Diffusion Barrier Function and Increases UV Sensitivity in a Human Skin Model. *J Invest Dermatol.* 2010; 130 (9): 2286-2294. doi:10.1038/jid.2010.115
78. Kinney PL, Ge B, Sampath V, et al. Health-based strategies for overcoming barriers to climate change adaptation and mitigation. *J Allergy Clin Immunol.* 2023; 152 (5): 1053-1059. doi:10.1016/j.jaci.2023.09.012
79. Bienestar I de S para el. Día Mundial de la Alergia | 8 de julio. *gob.mx.* Accessed September 24, 2025. <http://www.gob.mx/insabi/articulos/dia-mundial-de-la-alergia-8-de-julio?idiom=es>