

Las ondas cálidas en Mexicali, Baja California, México: morbilidad, mortalidad y vulnerabilidad al calor

Heat waves in Mexicali, Baja California, Mexico: morbidity, mortality and vulnerability to heat

Rafael García Cueto* y Judith Ley García**

Recibido: 23/01/2024. Aceptado: 21/3/2024. Publicado: 05/06/2024.

Resumen. Los desastres se presentan cada vez con mayor frecuencia en todo el mundo y como resultado ha crecido de forma considerable la pérdida de vidas humanas. En sentido estricto, los desastres no son naturales, sino que se deben a la presencia de un fenómeno natural combinado con la presencia humana en su entorno. Los fenómenos atmosféricos o climáticos pueden generar un desastre cuando la sociedad y los ecosistemas son incapaces de enfrentarse a ellos con eficiencia; tal es el caso de las ondas cálidas, que, en múltiples ocasiones, en muchos países se han convertido en desastres de salud pública. Las ondas cálidas son períodos de tiempo inusualmente cálido y seco o cálido y húmedo, con un sutil inicio y cese, duración de al menos dos o tres días, responsables de una alta tasa de mortalidad y morbilidad y que varían en carácter e impacto aún en una misma localidad, es decir, son relativas al clima de un lugar. La capacidad de adaptación climática, sumada a características demográficas y socioeconómicas, puede determinar un nivel individual de riesgo; las ondas cálidas tienen mayor probabilidad de impactar a las siguientes poblaciones vulnerables: personas mayores y niños, individuos con condiciones de enfermedad preexistentes, que viven socialmente aislados, sin aire acondicionado, sin hogar, sin acceso a información oportuna de las temperaturas y afectaciones en la salud, incapacitados para moverse, propensos a sufrir alguna enfermedad mental, que no son capaces de cuidarse y se encuentran en condiciones

de pobreza en zonas urbanas. Vale destacar que las ondas cálidas incrementarán su intensidad, duración y frecuencia de acuerdo con los escenarios climáticos globales y regionales.

Por lo anterior, en este texto se propuso cuantificar, para el período 2002-2023, el papel que las ondas cálidas han tenido en la salud de los habitantes y evaluar mediante la estimación de un índice de riesgo físico la vulnerabilidad humana al calor. Se eligió a Mexicali, Baja California, México, porque es la ciudad que durante el verano registra las temperaturas más altas de todo el país y anualmente se presentan afectaciones a la salud, producto de esas temperaturas extremas.

Para tal fin se utilizaron dos enfoques. El primero se orientó a cuantificar las afectaciones a la salud ocasionadas por las temperaturas cálidas extremas, mediante los boletines epidemiológicos semanales que la Secretaría de Salud, dependiente del gobierno de México, pone a disposición de cualquier usuario interesado. Esta información se complementó con estudios locales, respaldados por instituciones de salud locales y el servicio médico forense. El segundo enfoque se orientó a estimar el riesgo físico por las temperaturas cálidas extremas mediante criterios de vulnerabilidad física y social por áreas geoestadísticas básicas.

Se encontró que, debido a las ondas cálidas, el número total de personas afectadas fue de 1054, de las cuales 418 (39.7%) fueron por golpe de calor, 627 (59.5%) de agota-

* Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Calle de la Normal S/N, col. Insurgentes Este, Mexicali, B.C., 21280, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4594-2600>. Email: rafaelcueto@uabc.edu.mx. Autor de correspondencia

** Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Blvd. Benito Juárez S/N, col. Insurgentes Este, Mexicali, B.C., 21280, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6694-570X>. Email: jley@uabc.edu.mx

miento por calor y 9 (0.8%) por quemadura solar. Por la forma que la Secretaría de Salud agrupa los datos sobre golpes de calor, que incluye insolación, no fallecen todos los que se reportan en esta clasificación. Las defunciones, certificadas por el médico legista, alcanzaron un total de 332, con un valor máximo de 45 en el año 2023.

Con el índice de riesgo físico se ratificó que las zonas más vulnerables al calor se ubican en zonas de la ciudad de Mexicali donde el nivel socioeconómico es bajo, los servicios públicos básicos son deficientes y los ingresos reducidos.

Se concluye que las ondas cálidas en Mexicali son un problema de salud pública y que una posible solución para su mitigación es la de una planeación estratégica en la que participen gobierno, academia y empresas, vinculada a una red de comunicación, tanto de difusión gubernamental, como por el uso de redes sociales. También, se propone la creación de más áreas verdes o realizar reforestación urbana en las zonas más vulnerables, lo que podría servir como un recurso para disminuir la intensidad de la isla de calor urbano y de las ondas cálidas, y con ello generar zonas confortables al interior de la ciudad.

Palabras clave: temperaturas cálidas extremas, defunciones, riesgo, mitigación, vulnerabilidad física, vulnerabilidad social.

Abstract (DL). Disasters are occurring more frequently throughout the world and the loss of human lives due to them is increasing considerably. Strictly speaking, disasters are not natural, but are due to the presence of a natural phenomenon combined with the presence of man in his environment. In the case of atmospheric or climatic phenomena, they can generate a disaster when society and ecosystems are incapable of dealing with them efficiently; such is the case of heat waves, which, on multiple occasions, in many countries have become public health disasters. Heat waves are periods of unusually hot and dry or hot and humid weather, with a subtle onset and cessation, lasting at least two or three days, responsible for a high mortality and morbidity rate and varying in character and impact even in the same locality, i.e., they are relative to the climate of a place. The capacity for climatic adaptation added to demographic and socioeconomic characteristics can determine an individual level of risk; heat waves are more likely to impact the following vulnerable populations: the elderly and children, individuals with pre-existing disease conditions, living in social isolation, without air conditioning, homeless, not having access to timely information on temperatures and

health effects, being unable to move, suffering from a mental illness, not being able to take care of oneself, and poverty in urban areas. Likewise, heat waves will increase in intensity, duration and frequency according to global and regional climate scenarios.

Therefore, in this article, in the period from 2002 to 2023, we proposed to quantify the role that heat waves have had on the health of the inhabitants and to evaluate human vulnerability to heat by estimating a physical risk index. Mexicali, Baja California, Mexico, was chosen because it is the city with the highest temperatures in the country during the summer, and health problems occur annually as a result of these extreme hot temperatures.

For this purpose, two approaches were used. The first one was oriented to quantify the health effects caused by extreme hot temperatures, through the weekly epidemiological bulletins that the Ministry of Health, which is part of the Mexican government, has available for any user interested in obtaining it; the information on health effects was complemented with local studies, which are supported by local health institutions and the forensic medical service. The second approach was oriented to estimate the physical risk due to extreme heat temperatures using physical and social vulnerability criteria by basic geostatistical areas.

It was found that due to the heat waves the total number of people affected was 1054, of which 418 (39.7%) were from heat stroke, 627 (59.5%) from heat exhaustion and 9 (0.8%) from sunburn. Due to the grouping of heat stroke by the Ministry of Health, which includes heat stroke, not all deaths are reported in this classification. Deaths, certified by the medical examiner, totaled 332, with a maximum value of 45 in the year 2023.

The physical risk index confirmed that the areas most vulnerable to heat are located in areas of the city of Mexicali where the socioeconomic level is low, with deficiencies in basic public services and the population has a low income.

It is concluded that heat waves in Mexicali are a public health problem and that a possible solution for their mitigation is a strategic planning in which government, academia and companies participate, linked to a communication network, both through governmental dissemination and the use of social networks. It is also proposed the creation of more green areas and/or urban reforestation in the most vulnerable areas, which could serve as a resource to reduce the intensity of the urban heat island and the intensity of the heat waves, and thus generate comfortable areas within the city.

Keywords: extreme heat temperatures, deaths, risk, mitigation, physical vulnerability, social vulnerability.

INTRODUCCIÓN

La temperatura superficial global fue 1.1 °C más alta durante el período 2011-2020 que en el de 1850-1900, lo que ha ocasionado impactos adversos generalizados en la seguridad alimentaria e

hídrica, la salud humana, las economías y la sociedad, así como pérdidas y daños a la naturaleza y las personas. Además, históricamente las comunidades vulnerables que han contribuido menos al cambio climático actual están siendo afectadas de manera desproporcionada (IPCC, 2023). Este cambio

climático inducido por el ser humano, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, además de causar un incremento global en las temperaturas, está conduciendo a ondas de calor más frecuentes y más intensas desde los años 1950, y han provocado incrementos en la mortalidad y morbilidad humanas (Ma *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016; Debnath *et al.*, 2023), y algunos eventos de calor extremo se han reportado desastres de salud pública, como los de Chicago en julio de 1995 (Semenza *et al.*, 1996), el occidente de Europa en 2003 (Kosatsky, 2005; Poumadere *et al.*, 2005) y en la Federación Rusa en julio y agosto de 2010 (Fischer y Knutti, 2015).

La Organización Mundial de la Salud estimó que el calentamiento global causó un exceso de 140 000 muertes en 2004 en comparación con 1970 (World Health Organization, 2010); dichos eventos de calor extremo se han intensificado en las ciudades, muy probablemente por el efecto añadido de calentamiento producido por las islas de calor urbanas (ICU) (Lowe, 2016; Cuerdo *et al.*, 2023).

Respecto a las ondas cálidas no existe una definición universalmente aceptada (Robinson, 2001), pero se entiende que son períodos de tiempo inusualmente cálidos y secos o cálidos y húmedos, con un sutil inicio y cese, duración de al menos dos o tres días, responsables de una alta tasa de mortalidad y morbilidad y que varían en carácter e impacto aún en una misma localidad, es decir, son relativas al clima de un lugar (World Meteorological Organization y World Health Organization, 2015).

Durante dichos períodos, no solo las temperaturas diurnas alcanzan valores elevados, sino que las nocturnas y los niveles de humedad también pueden aumentar mucho más allá de su media a largo plazo. Los eventos de calor extremo, además de afectar negativamente a la salud humana, quebrantan la estabilidad social, incrementan la demanda de energía y afectan el suministro de agua (Nairn y Fawcett, 2013); el comercio minorista de ropa, el turismo y los servicios ecosistémicos también pueden verse afectados, de modo que puede haber “ganadores y perdedores” socioeconómicos (World Meteorological Organization y World Health Organization, 2015).

Además de los factores termorregulatorios, las características demográficas y socioeconómicas

pueden determinar un nivel individual de riesgo; las ondas cálidas tienen mayor probabilidad de impactar a poblaciones vulnerables, es decir, a personas mayores y niños, individuos con condiciones de enfermedad preexistentes, vivir socialmente aislados, sin aire acondicionado, sin hogar, no tener acceso a información oportuna de las temperaturas y afectaciones en la salud, estar incapacitado para moverse, sufrir de alguna enfermedad mental, no ser capaz de auto cuidarse y condición de pobreza en las zonas urbanas, condición que los pone especialmente en riesgo debido a su baja capacidad adaptativa (NIHHIS, 2023).

En una revisión (Campbell *et al.* 2018) se identificaron 854 lugares en los que se investigaron los efectos en la salud provocados por las ondas cálidas. Las zonas mayormente estudiadas fueron las zonas templadas de América del Norte y sur de Europa, el este de China y sur de Australia. Muy pocos estudios en las zonas tropicales y de montaña, y prácticamente ningún estudio en América del Sur y Centroamérica. En esa revisión no se mencionan los estudios elaborados para México, y uno que reviste particular importancia es el realizado para la ciudad de México (Jáuregui, 2009), cuya ubicación es en los trópicos (19° 30' N, 99° 10' W) sobre un valle de gran altitud (2250 msnm), en el que se define una onda cálida cuya temperatura registra valores superiores a 30 °C durante tres o más días y una temperatura media diaria ≥ 24 °C; en el período de 1880 a 2005 se identificaron 88 períodos de calor extremo y una frecuencia creciente de ondas cálidas en un análisis decadal: de 6 en los años 1950 a 16 en la década de 1990. Otro estudio realizado para México es el de Diaz-Caravantes *et al.* (2014) en el que encontraron que durante el período 2002-2010 fallecieron 393 personas por calor natural excesivo, la mayor parte en el noroeste del país.

Asimismo, los estudios realizados para la ciudad de Mexicali, Baja California, México, tienen una connotación particular ya que en ella se registraron las temperaturas más altas de todo el país durante el verano (García-Cueto y Santillán, 2012) y un índice muy alto de vulnerabilidad social por ondas de calor (Cordero, 2017), lo que da como resultado una gran cantidad de afectados por este fenómeno

natural. En torno a este tema se han realizado algunos estudios, por ejemplo, García-Cueto *et al.* (2009), definieron a una onda cálida como la temperatura máxima diaria que excede el percentil 90, al menos durante dos días consecutivos; la temperatura seleccionada fue de 44 °C. En el período de 1951 a 2006 encontraron 284 ondas cálidas, más frecuentes en el mes de julio, y una duración, en su mayoría, de 2 a 4 días. De 1991 a 2006 se contabilizaron 113 ondas cálidas, mientras que de 1975 a 1990 hubo 59 ondas cálidas, un incremento de casi el 100% en solo 15 años. Este aumento en la duración e intensidad de estas ondas guarda consonancia con lo esperado por el cambio climático global, aunado al proceso de urbanización. Jaramillo *et al.* (2011) evaluaron 77 ingresos al servicio de urgencias del Hospital General de Mexicali de 2006 a 2010 con diagnóstico de golpe de calor, con una mortalidad del 32% (24 fallecidos). Contreras-Navarro *et al.* (2016) identificaron las principales variables que causan la formación de una onda cálida y la definieron como aquel fenómeno con duración de dos días o más cuando la temperatura máxima diaria ≥ 42 °C y temperatura mínima diaria ≥ 29 °C. Propusieron la modelación, mediante algoritmos de inteligencia artificial, y encontraron que las redes neuronales tuvieron el mejor desempeño, por lo que concluyeron que el modelo generado para la predicción de las ondas cálidas en Mexicali podría ser utilizado en un sistema de alerta temprana.

En México se tienen muy pocos estudios publicados en revistas científicas sobre las ondas cálidas a pesar de sus afectaciones recurrentes en la morbilidad y mortalidad de sus habitantes, lo que puede deberse a varias causas: 1) falta de información fidedigna y oportuna en el sector salud, tanto a nivel nacional, como estatal y municipal, 2) carencia de recursos económicos, y 3) falta de investigadores dedicados a este tema. Afortunadamente, la primera causa está siendo atendida, ya que a partir del 2005 la Secretaría de Salud del Gobierno Federal de México empezó a publicar información mensual y anual, de la morbilidad y mortalidad, como producto del calor y frío extremos. La información se encuentra disponible en: <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes->

[semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-temperaturas-naturales-extremas-2024](#).

Asimismo, la exposición a los peligros climáticos está aumentando a nivel mundial y el paradigma naturalista de que nada se puede hacer con respecto al riesgo que representan los fenómenos naturales ya no se sostiene, pues los desastres no son naturales, sino producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición, derivados en gran medida de aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza y escaso ordenamiento urbano y territorial (Mayrhuber *et al.*, 2018).

Con el contexto anterior, y a partir de los resultados encontrados para la ciudad de Mexicali por Contreras-Navarro (2011), los objetivos de este artículo son: 1) actualizar la incidencia en la salud debido a las ondas cálidas y 2) establecer estrategias de mitigación mediante un índice físico de vulnerabilidad para Mexicali, Baja California, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Mexicali es la capital del estado de Baja California. Se encuentra en el Desierto Sonorense, al noroeste de México; limita al norte con el estado de California, Estados Unidos, y hacia el oeste con el estado de Sonora, México (Figura 1). Es una aglomeración urbana en medio del desierto cuya fuente de expansión física y de crecimiento económico fue inicialmente la actividad agrícola; actualmente las actividades industriales y comerciales son más importantes. El más reciente censo de población y vivienda (INEGI, 2020) contabilizó 854 186 habitantes.

El clima es del tipo BW(h')(hs)x', de acuerdo con la clasificación de García (2004), lo que indica un clima árido seco con amplia variación térmica mensual y lluvias en invierno. Mexicali es una de las ciudades más calientes de México, con temperatura máxima promedio en julio de 42.5 °C; el 28 de julio de 1995 alcanzó la temperatura máxima histórica de 52 °C, la más alta desde el año 1948, cuando se empezó a llevar un registro continuo (García-Cueto y Santillán, 2012). La Alta Presión

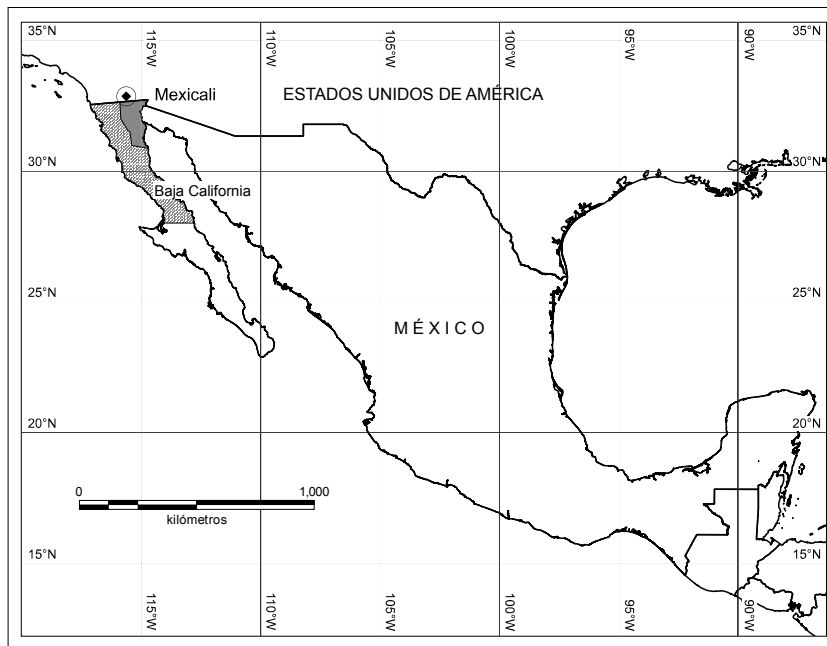


Figura 1. Localización de Mexicali, Baja California, México. Fuente: elaboración propia.

semipermanente del Pacífico Noroeste es la principal responsable del clima desértico de la región ya que por sus movimientos de subsidencia inhibe la formación de nubes y precipitación.

Metodología

Se utilizaron dos enfoques para abordar el problema del impacto de las ondas cálidas en la salud de los habitantes de la ciudad de Mexicali. El primero se encargó de cuantificar las afectaciones a la salud mediante el empleo de boletines epidemiológicos complementada con otras fuentes de datos locales, que se describen en la siguiente sección, mientras que el segundo enfoque se orientó a estimar el riesgo físico por las temperaturas extremas mediante criterios de vulnerabilidad (CENAPRED, 2006). La unión de ambos enfoques permitió discutir el riesgo de las ondas cálidas en el contexto socioeconómico local y su utilización como estrategia de mitigación de riesgo en las poblaciones vulnerables.

Afectaciones a la salud por ondas cálidas

A partir de los boletines epidemiológicos semanales de la Secretaría de Salud del gobierno de México (<https://www.gob.mx/salud/documentos/>

[informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-temperaturas-naturales-extremas-2024](#)), se obtuvieron datos cuantitativos acerca de los daños a la salud ocasionados por temperaturas cálidas extremas (temperaturas cálidas extremas y ondas cálidas se usan indistintamente en este artículo). A partir del 2008, las definiciones operacionales de caso para la vigilancia epidemiológica por las altas temperaturas son: golpe de calor (que incluye insolación), agotamiento por calor (que incluye deshidratación) y quemaduras solares graves (segundo y tercer grado). Una deficiencia en esta clasificación es que, al incluir en el golpe de calor a las personas que sufren de insolación, se produce una subestimación de las defunciones, como se verá más adelante. El acceso a otras fuentes de datos, de morbilidad y mortalidad, ocasionadas por ondas cálidas en Mexicali (Contreras-Navarro, 2011; Inzunza-Castro, 2019) permitió extender el período de análisis de 2002 a 2013.

Índices de riesgo por temperaturas extremas

Dado que los daños a la salud por temperaturas extremas dependen de la vulnerabilidad, tanto física como social, se estimaron índices de riesgo a nivel de área geostatística básica (AGEB) al interior de

la ciudad de Mexicali. A continuación, se muestra el método de estimación.

El *Índice de Riesgo Físico* (IRF) es una medida de la probabilidad de daños y pérdidas a razón del encuentro de un evento extremo o peligro con una comunidad vulnerable. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006) propone su cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$IRF = IVF \left[0.8 + \frac{IM}{25} \right]$$

Donde:

IRF = Índice de riesgo físico

IVF = Índice de vulnerabilidad física

IM = Índice de vulnerabilidad social

El *Índice de Vulnerabilidad Física* (IVF) da cuenta de la fragilidad del hábitat ante ciertos eventos extremos. CENAPRED (2006) se refiere principalmente a la vulnerabilidad de las viviendas a sismos y vientos, y propone su cálculo a partir de cuatro elementos: la calificación del desempeño de la vivienda según su tipología (V_i), la calificación del tipo de vivienda con el peor desempeño (V_p), el nivel de peligro en el lugar (P_i) y el nivel de peligro máximo posible en el territorio nacional (P_M). Estos dos últimos se obtienen a partir de la regionalización de las amenazas en el territorio nacional.

$$IVF = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$$

Debido a que el IVF no fue diseñado para temperaturas extremas, Ley-García *et al.* (2006) realizaron algunos ajustes metodológicos en la definición del nivel de peligro y la tipología de las viviendas. Para su cálculo se utilizó la información de materiales de muros y techos de la vivienda de INEGI (2010), cuya combinación dio como resultado la Tabla 1.

Para la clasificación realizada debe entenderse que:

- Los muros rígidos son de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto.
- Los techos rígidos son de losa de concreto o viguetas con bovedilla.

Tabla 1. Tipología de la vivienda para temperaturas extremas.

Tipo Cenapred	Tipo (muestra censal)	Combinación de materiales	V_i	Conductividad
1	1	Muros rígidos con techos rígidos	3	Media
2	2a	Muros rígidos con techos flexibles tipo A	4	Alta
	2b	Muros rígidos con techos flexibles tipo B	2	Baja
3	3	Muros de adobe con techos rígidos	2	Baja
4	4a	Muros de adobe con techos flexibles tipo A	3	Media
	4b	Muros de adobe con techos flexibles tipo B	1	Muy baja
5	5a	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo A	5	Muy alta
	5b	Muros flexibles tipo A con techos flexibles tipo B	3	Media
	5c	Muros flexibles tipo A con techos rígidos	4	Alta
	5d	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo A	3	Media
	5e	Muros flexibles tipo B con techos flexibles tipo B	2	Baja
	5f	Muros flexibles tipo B con techos rígidos	2	Baja

Fuente: Ley-García *et al.* (2011).

- Los muros flexibles tipo A son de material de desecho, lámina de cartón, de asbesto o metálica.
- Los techos flexibles tipo A son de material de desecho, lámina de cartón, metálica o de asbesto.
- Los muros flexibles tipo B son de carrizo, bambú, paja, barro o bajareque, madera.
- Los techos flexibles tipo B son de paja o palma, madera o tejamanil, terrado con viguería, teja.

Con respecto al *Índice de Vulnerabilidad Física* por AGEB, la clasificación se dio en función de tres

combinaciones posibles: muro rígido con techo rígido (1), muro rígido con techo flexible (2) y muro flexible con techo flexible (5). Las proporciones de estos tipos de vivienda en el AGEB (P_i) fueron multiplicadas por la peligrosidad (V_i) que les corresponde y sumadas, para obtener el nivel de peligro de la unidad espacial ($IVF = P_1V_1 + P_2V_2 + P_5V_5$).

El *Índice de Vulnerabilidad Social* (IM) es el resultado de clasificar en cinco niveles el Grado de Vulnerabilidad Social (GVS). Este último se obtiene a partir de la suma ponderada de tres factores: 1) la vulnerabilidad socioeconómica (VSE), 2) la vulnerabilidad de capacidad de prevención y respuesta (VCPR), y 3) la vulnerabilidad por percepción local del riesgo (VPLR) que se obtuvo a partir de una encuesta a una muestra aleatoria de 385 hogares (UABC, 2011).

$$GVS = 0.50 VSE + 0.25 VCPR + 0.25 VPLR$$

RESULTADOS

Afectaciones a la salud por ondas cálidas

En la Tabla 2 se reportan los daños a la salud por temperaturas cálidas extremas en Mexicali, B.C., de 2014 a 2023.

Por la agrupación que la Secretaría de Salud realiza bajo el rubro golpe de calor, en el que incluye insolación, no fallecen todos los que se reportan en esa columna de la Tabla 2. El número total de personas afectadas fue de 1054, de las cuales 418 (39.7%) fueron por golpe de calor, 627 (59.5%) de agotamiento por calor y 9 (0.8%) por quemadura solar. El año 2021 reporta el mayor número de daños a la salud con 431 personas, siguiéndole el año 2022 con 160 personas. El número menor fue en el 2020 con 45 personas.

Los estudios de Contreras-Navarro (2011) e Inzunza-Castro (2019) abarcan los períodos 2002-2009 y 2007-2018, respectivamente, los cuales fueron muy útiles para completar la información obtenida de la Secretaría de Salud de 2014 a 2023. De los resultados encontrados de 2002 a 2013, los más sobresalientes fueron los siguientes. Las edades en las que más se presentaron los efectos por las ondas

cálidas fueron entre los 30 y 55 años, 95% del sexo masculino y 5% del sexo femenino, el 89% oriundos de Mexicali y el 11% foráneos. Los meses en los que se presentaron afectaciones por ondas cálidas fueron de mayo a septiembre, siendo julio y agosto los más severos, con 46.4% y 30%, respectivamente. Le siguieron junio, septiembre y mayo con 15.3%, 5.1% y 3.2%, respectivamente. Las afectaciones reportadas en el período 2002 a 2013 no difieren sensiblemente del período 2014-2023, reportado en el párrafo anterior, puesto que los afectados por golpe de calor fueron un 42%, agotamiento por calor un 57%, y los de quemadura solar, junto con los deshidratados, solo un 1%. También se observó que se presentaban más casos de personas afectadas y defunciones cuando la temperatura era mayor a 43 °C por más de dos días consecutivos, incrementándose el número de casos al continuar la temperatura elevada por varios días, lo que coincide con Kalkstein *et al.* (1991) y Harlan y Ruddell (2011). Las ocupaciones más habituales de los afectados (Contreras-Navarro, 2011) fueron las de oficios realizados al aire libre,

Tabla 2. Daños a la salud por temperaturas cálidas extremas en Mexicali, B.C. de 2014 a 2023.

Año	Golpe de calor	Agotamiento por calor	Quemadura solar	Total
2014	33	44	1	78
2015	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
2016	36	26	1	63
2017	35	19	2	56
2018	65	38	1	104
2019	36	20	0	56
2020	35	8	2	45
2021	51	380	0	431
2022	76	82	2	160
2023	51	10	0	61
	418	627	9	1054

Fuente: <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-temperaturas-naturales-extremas-2024>

los que no tienen hogar o que tienen problemas mentales y de drogadicción.

En la Figura 2 se muestran las defunciones por golpe de calor en Mexicali, B.C., de 2002 a 2023. En ese período hubo 332 defunciones, con los valores máximos de 35 en 2006 y de 45 en 2023; los valores mínimos fueron en 2002 y 2003, con 1 y 5 defunciones, respectivamente. En los períodos 2002-2006, 2008-2011 y 2017-2023 se tienen tendencias ascendentes que culminan con el mayor número de defunciones, con 35, 22 y 45 casos en 2006, 2011 y 2023, respectivamente.

En la Tabla 3 se observan los efectos en la salud de las ondas cálidas que se presentaron entre 2007 y 2013. La información original proporcionada por el hospital general de Mexicali (M. R. Lomelí, comunicación personal, 3 de mayo de 2014) fueron combinados para presentarse de acuerdo con la clasificación oficial de la secretaría de salud; para la Tabla 2 se incluyen dos categorías: golpe de calor y deshidratación.

De acuerdo con la Tabla 3, el total de personas afectadas fue de 175, de las cuales con golpe de calor fueron 92, con el valor máximo en el 2011

con 22 casos, y el valor mínimo en el 2008 con 7 casos. El número total de deshidratados fue de 83, con el mayor número en 2011 con 38 casos y el menor número en 2012 con 18 casos.

Índices de riesgo por temperaturas extremas

Respecto a los resultados del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), se identificó que en la ciudad de Mexicali el peligro por temperaturas máximas es tal que 5.7% de las viviendas presentan vulnerabilidades alta o muy alta, 56.2% vulnerabilidad media y 38.1% vulnerabilidades muy baja o baja (Tabla 4).

En la escala intraurbana, 58% y 42% de las AGEB presentaron vulnerabilidades media y alta a temperaturas máximas, respectivamente. Los niveles altos se distribuyen principalmente en el oriente y suroeste de la ciudad, donde se han desarrollado amplios conjuntos habitacionales de interés social (Figura 3), abarcando 48% de las viviendas y 47% de la población urbana.

El Índice de Vulnerabilidad Social (IM) a nivel urbano fue muy bajo, como resultado de los valores pequeños presentes en la vulnerabilidad socio-

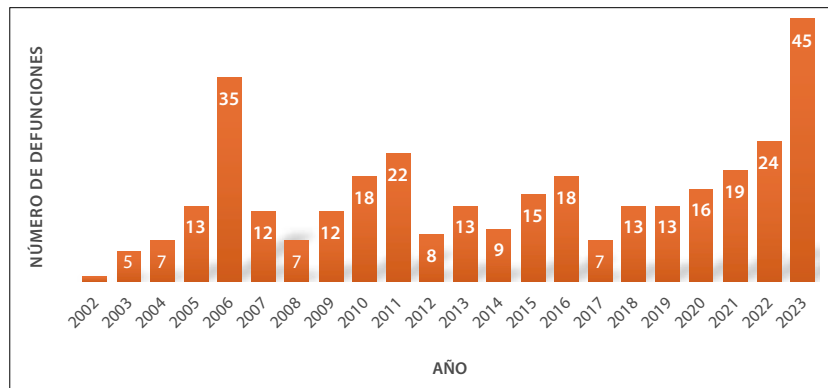


Figura 2. Defunciones por golpe de calor en Mexicali, B.C., México. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Eventos de onda cálida (2007-2013) y efectos en la salud de la población de Mexicali, B.C. de 2007 a 2013.

Afectación	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
Golpe de calor	12	7	12	18	22	8	13	92
Deshidratación	16	14	9	10	16	10	8	83
Total	28	21	21	28	38	18	21	175

Fuente: M. R. Lomelí, comunicación personal, 3 de mayo de 2014.

Tabla 4. Índice de vulnerabilidad física para temperaturas máximas.

Tipo	% de las viviendas	IVFTMAX	Grado
1	55.5%	0.60	Media
2a	2.2%	0.80	Alta
2b	29.2%	0.40	Baja
3	0.1%	0.40	Baja
4a	0.0%	0.60	Media
4b	3.6%	0.20	Muy baja
5a	3.1%	1.00	Muy alta
5b	0.4%	0.60	Media
5c	0.4%	0.80	Alta
5d	0.3%	0.60	Media
5e	5.2%	0.40	Muy baja
5f	0.1%	0.40	Baja
Total	100%		

Fuente: elaboración propia.

económica y la incapacidad de prevención y respuesta ($VSE=0.05$, $VCPR=0.09$), lo que indica que la comunidad cuenta con condiciones para enfrentar y recuperarse de eventos adversos. No obstante, la vulnerabilidad por percepción local del riesgo tuvo un nivel alto ($VPLR =0.64$), lo que indica que la mayor parte de los hogares carece de información o medidas de prevención y mitigación suficientes para enfrentar una situación de emergencia.

El 90% de los hogares identificó el peligro de temperaturas máximas en el lugar, pero su percepción al peligro fue heterogéneo al interior del espacio urbano. En la Figura 4 se observa que los hogares del oeste de la ciudad tienen una percepción más alta del peligro por temperaturas extremas que el resto de la ciudad, mientras que, en el oriente, la percepción es muy baja.

El Índice de Riesgo Físico (IRF) para las temperaturas máximas, un producto compuesto de las vulnerabilidades física y social, tuvo un nivel medio ($IRF=0.47$), mientras que, a nivel intraurbano, 27% de las AGEB presentó un riesgo bajo y 73% un riesgo medio. Estas últimas abarcan casi toda la superficie urbana, especialmente en la porción

central y las periferias, concentrando 71% de las viviendas y de la población (Figura 5).

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados presentados se observa que la ciudad de Mexicali, B.C., tiene anualmente afectaciones a la salud, que no solo son casos de deshidratación y quemaduras solares, sino también defunciones por golpe de calor, las cuales, a partir de que se realizan necropsias por el servicio médico forense, acumulan un total de 332 personas, durante el período de 2002 a 2023. A diferencia de otros estudios en los que, de manera indirecta, ya sea por modelos epidemiológicos o modelos de simulación, se estiman las muertes atribuibles al calor (Weinberger *et al.*, 2020; Ballester *et al.*, 2023; Zhang, 2023), en este artículo se presenta información cuantificable de defunciones certificadas por el riesgo de ondas cálidas, lo que fue posible en virtud de que el entonces director del servicio médico forense en la ciudad de Mexicali (V. A. Campa, comunicación personal, 22 de noviembre de 2015) otorgara permiso para revisar los archivos. Basado también en decesos certificados en Estados Unidos, en el período de 2004 a 2018, un promedio de 702 muertes anuales (un total de 10527) fueron directamente atribuibles a causas relacionadas con el calor, siendo los estados de Arizona, California y Texas los más afectados con aproximadamente un tercio del total (Vaidyanathan *et al.*, 2020), lo que plantea la hipótesis, dado que limitan con los estados fronterizos del norte de México, que un porcentaje de esas muertes por temperaturas extremas podrían estar relacionadas con migrantes tratando de cruzar la frontera y con trabajadores cuyas actividades se realizan a la intemperie o bajo condiciones ambientales bajas que no están adaptados.

Por otra parte, la mayoría de estudios revisados sugieren que los adultos mayores de 65 años y las mujeres son más vulnerables al calor extremo debido a características fisiológicas y sociales (van Steen *et al.*, 2019; Kollanus *et al.*, 2021), lo que difiere de lo encontrado en Mexicali, ya que de acuerdo a los datos analizados fueron personas de entre 30

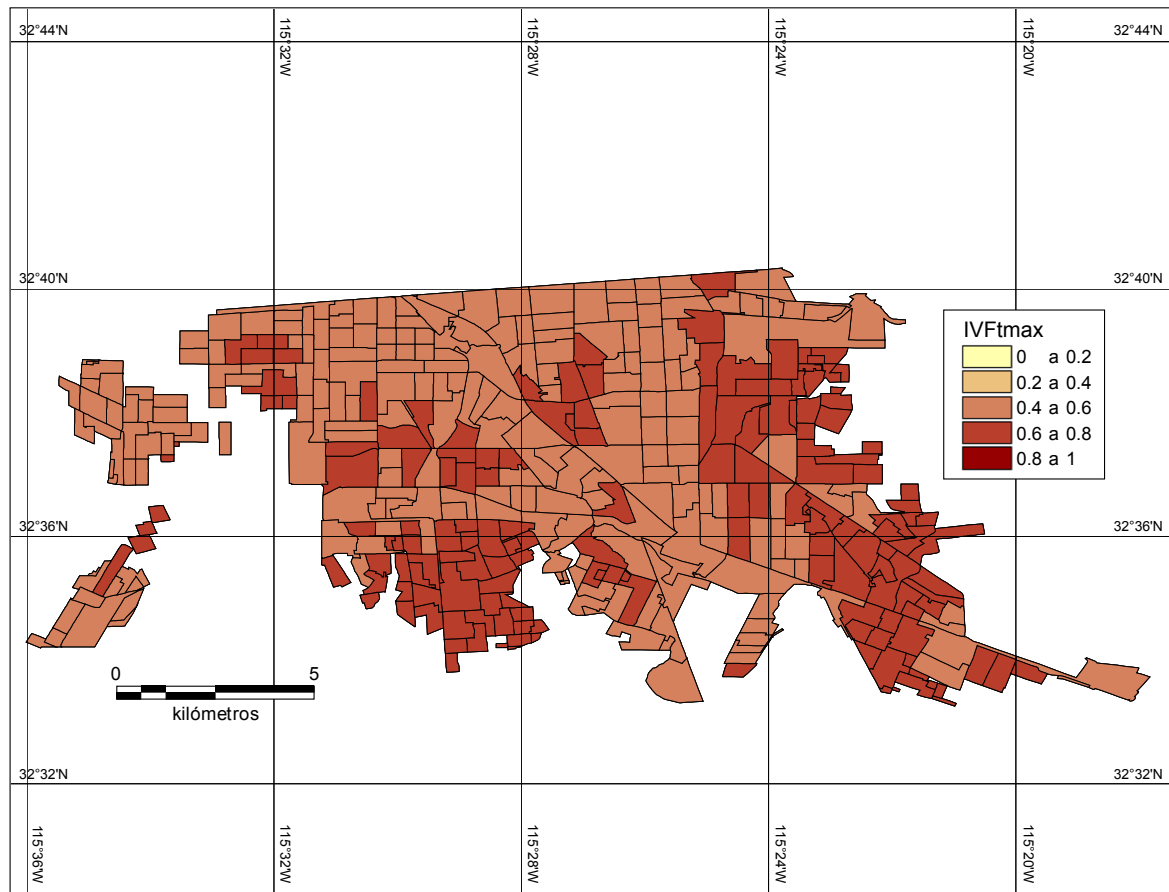


Figura 3. Índice de vulnerabilidad física a temperaturas máximas. Fuente: elaboración propia.

y 55 años, que trabajan al aire libre, nativos de la ciudad, es decir, hipotéticamente adaptados a las temperaturas cálidas extremas de la ciudad, y mayoritariamente hombres. Otro subgrupo claramente vulnerable es el de la gente que vive en situación de calle con problemas mentales o de drogadicción. El último subgrupo vulnerable encontrado es el que tiene baja capacidad adaptativa y bajo nivel socioeconómico como es la situación de los migrantes, tanto nacionales como internacionales.

Ante este panorama y con el objetivo de prevenir afectaciones a la salud por temperaturas cálidas extremas, los gobiernos de Baja California, estatal y municipal, establecieron un programa llamado “verano seguro” en el que abren casas de hidratación oral en diferentes colonias, área de descanso con regaderas, aparatos de ventilación y proporcionan

vidas de suero oral a la población vulnerable, acciones que claramente han sido insuficientes para contener el número de afectados en sus diferentes categorías. Así, lo que se observa por parte del gobierno es la reacción cada verano para enfrentarse una y otra vez a este fenómeno, sin embargo no hay planes o estrategias específicas que contemplen reducir el riesgo de las ondas cálidas a pesar de su paulatino aumento, intensidad creciente y duración cada vez mayor, como se contempla en diversos escenarios globales y regionales de modelación (IPCC, 2023; PEACC-BC, 2012), lo que sumado a la intensificación del estrés por calor debido a la isla de calor urbano en Mexicali (García-Cueto *et al.*, 2007) probablemente se incremente la morbilidad y mortalidad (Founda y Santamouris, 2017), agravada por la tendencia positiva demográfica de

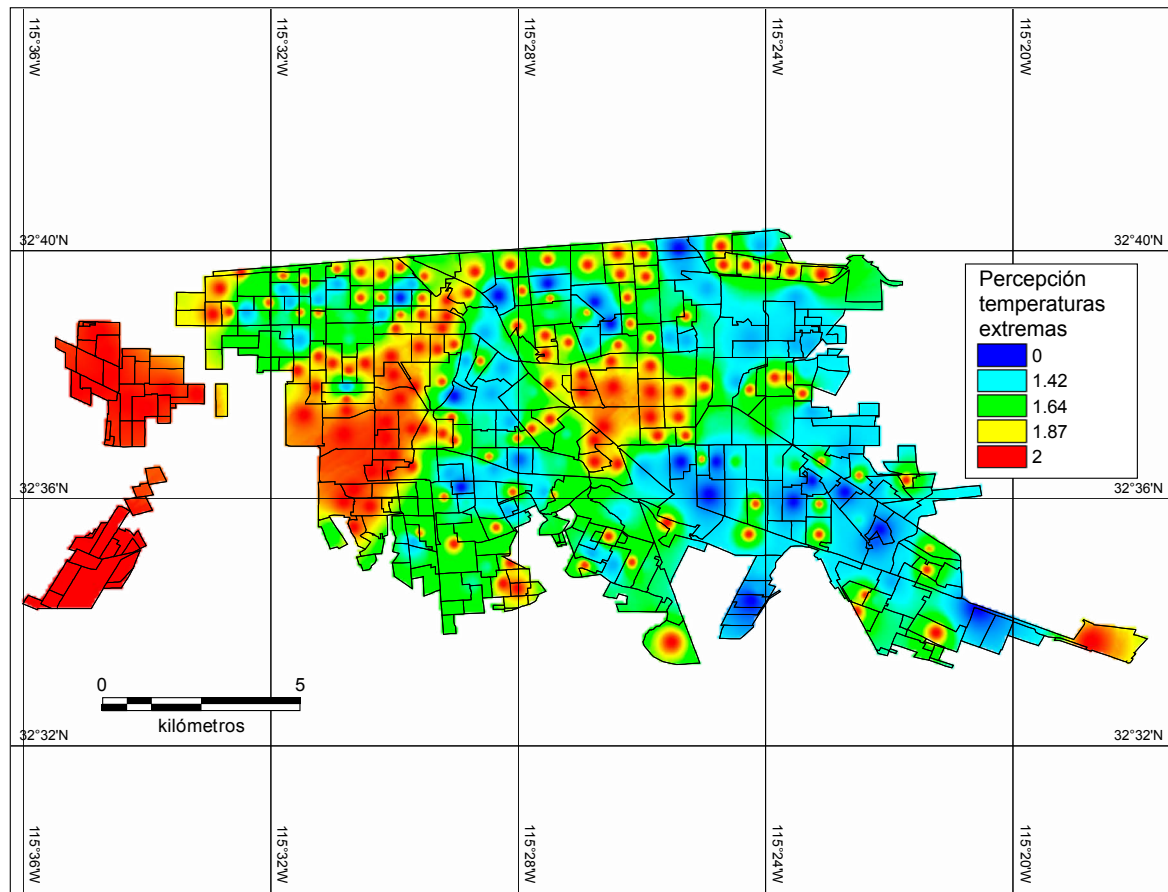


Figura 4. Percepción de temperaturas extremas como peligro. Fuente: elaboración propia.

una población adulta. Una solución natural para mitigar la intensidad de la isla urbana de calor es el desarrollo de espacios verdes (Villanueva-Solís, 2017; Santamouris *et al.*, 2018; Gómez-Martínez *et al.*, 2021) lo que parece funcionar mejor para climas áridos secos (Zhou *et al.*, 2023), tal como lo tiene la ciudad de Mexicali, por lo que una propuesta similar podría ser aplicada en beneficio de la población vulnerable al calor.

En lo que respecta a la percepción de las temperaturas cálidas extremas como peligro y el índice de riesgo físico por temperaturas máximas encontradas por AGEB para la ciudad de Mexicali, dan una imagen muy clara de que un riesgo natural es una función no solo del peligro sino también de la vulnerabilidad y siendo el oeste de la ciudad y sus extremos este y sureste los más desfavorecidos, se

ratifica que esa percepción y el índice de riesgo estimado tengan los mayores valores en esos estratos, sobre todo porque en esas áreas se tienen deficiencias en servicios públicos básicos y poblaciones de bajo ingreso. El resultado anterior corrobora lo que, respecto a la vulnerabilidad al calor para Mexicali mencionan Muñoz-Pizza *et al.* (2023), al encontrar que hay una notoria confluencia de sensibilidad, exposición y reducida capacidad adaptativa en las áreas periféricas de la ciudad que cuentan con baja densidad de población, mayormente urbanizada, asentamientos informales, colonias de bajos ingresos y grandes lotes vacíos.

Los estudios actuales que evalúan la vulnerabilidad al calor se han realizado principalmente en Estados Unidos y Europa, por lo que el índice de riesgo físico para temperaturas cálidas extremas

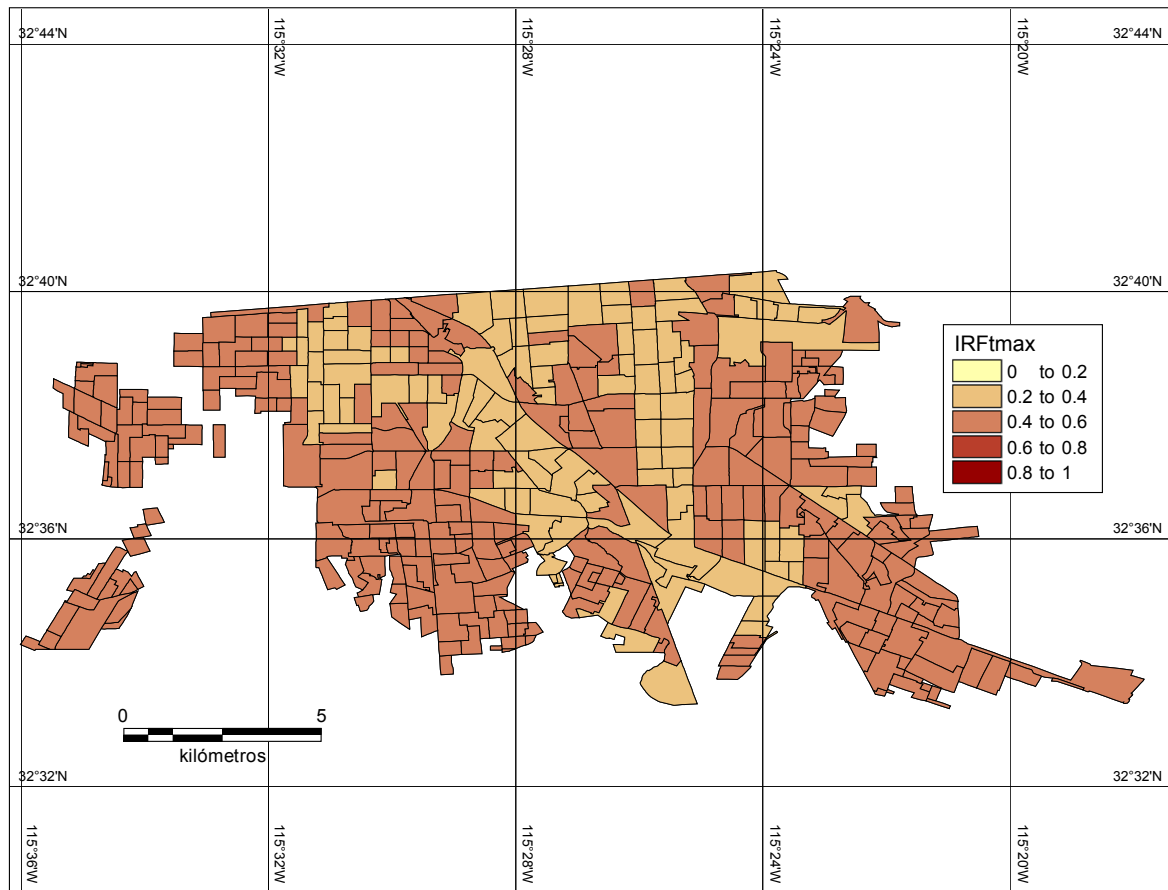


Figura 5. Índice de riesgo físico por temperaturas máximas. Fuente: elaboración propia.

propuesto en este estudio para la ciudad de Mexicali, al igual que los estudios de Navarro-Estupiñán *et al.* (2020) para la ciudad de Hermosillo, Son., y de Muñoz-Pizza *et al.* (2023), para las ciudades de Tijuana, B.C. y Mexicali, B.C., refuerzan lo expresado por Bao *et al.* (2015), en el sentido de que un índice de calor debe estar relacionado con la vulnerabilidad humana, de tal manera que refleje con fidelidad la realidad socioeconómica de una región, para avanzar en la prevención del fenómeno letal de las ondas cálidas.

Como corolario de lo discutido se puede comentar que el riesgo de las ondas cálidas para los habitantes de la ciudad de Mexicali es un problema de salud pública, puesto que anualmente se tienen decesos y otras afectaciones, que deberían obligar

a las autoridades gubernamentales a proponer un plan preventivo en el que involucren a la academia y al sector empresarial para formar un frente común. Al mismo tiempo, una comunicación efectiva que haga uso, no solo de los medios oficiales, sino también a través de las redes sociales para que permee a esa membrana de grupos vulnerables y socioeconómicamente deprimidos. El plan de crecimiento urbano municipal de Mexicali debe contemplar un mayor número de áreas verdes y una reforestación urbana con el propósito de usarlas en las zonas que se encontraron más vulnerables a las temperaturas cálidas extremas, que bien podrían utilizarse como estrategia de mitigación del calor y decremento en la intensidad de la isla de calor urbano.

CONCLUSIONES

El riesgo de las ondas cálidas en Mexicali y su afectación en la salud es un problema complejo de salud pública el cual se convierte en un peligro real causado por la vulnerabilidad de sus habitantes. En el período 2002-2023 hubo un total de 1054 afectados por esta causa, de los cuales casi la tercera parte (332 de ellos) fueron decesos certificados por el médico forense local. Las edades más frecuentes de afectación son entre los 30 y 55 años y el 95% del sexo masculino; ocupaciones en las que se encontró muerte por golpe de calor fueron los trabajos al aire libre, mientras que los indigentes y con problemas mentales y/o de drogadicción también fueron más comúnmente afectados. El índice de riesgo físico estimado por AGEB para temperaturas cálidas extremas mostró una clara imagen de las zonas vulnerables al calor, las cuales están íntimamente relacionadas con el nivel socioeconómico. A nivel ciudad, pero particularmente en las zonas más vulnerables al calor se deberían incrementar las áreas verdes como estrategia de mitigación de las ondas cálidas y que a su vez contribuyan con el detrimento de la isla de calor urbano para disminuir la carga térmica en horas nocturnas. Finalmente, un programa estratégico de mitigación en el que concurren gobierno, academia y empresas, en colaboración con profesionales de la comunicación y el uso de redes sociales podrían ayudar a disminuir el número de afectados en la ciudad de Mexicali por el riesgo de las ondas cálidas.

REFERENCIAS

- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez-Turrubiates, R. F., Pegenaute, F., Herrmann F., Robine, J. M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J. M. y Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, (29), 1857-1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Bao, J., Li, X. y Yu, Ch. (2015). The construction and validation of the Heat Vulnerability Index, a Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (12), 7220-7234; <https://doi.org/10.3390/ijerph120707220>
- Campbell, S. Remenyi, A. T., White, J. Ch. y Fay, J. H. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health and Place*, (53), 210-218. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017>
- CENAPRED. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Evaluación de la vulnerabilidad física y social)*. CENAPRED.
- Contreras-Navarro, E. (2011). *Las ondas cálidas y su impacto en la salud: análisis y evolución histórica en Mexicali, B.C., México*. Tesis de grado de Maestría en Ciencias, UABC.
- Contreras-Navarro, E., García-Cueto, O. R., González-Navarro, F. F. y Valenzuela-Palacios, E. A. (2016). Modelado de las temperaturas del aire a 850 mb: un potencial indicador de las ondas cálidas en el Noroeste de México. *Información Tecnológica*, 27(2), 141-152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200017>
- Cordero, D. D. A. (2017). *Índice de Vulnerabilidad Social por Ondas de Calor. Subdirección de Riesgos por Fenómenos Hidrometeorológicos*. Reporte Técnico. Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Cuerdo, T., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Luna, M. Y., Navas-Martin, N. A., Mirón, I. y Linares, C. (2023). Impact of urban heat islands on morbidity and mortality in heat waves: Observational time series analysis of Spain's five cities. *The Science of The Total Environment*, 890(7), 164412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164412>
- Debnath, R., Bardhan, R. y Bell, M. (2023). Lethal heatwaves are challenging India's sustainable development. *PLOS Climate*, 2(4), e0000156. <https://doi.org/10.371/journal.pclm.000156>
- Díaz-Caravantes, R. E., Castro-Luque, A. L. y Aranda-Gallegos, P. (2014). Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. *Frontera Norte*, 26(52), 155-177.
- Fischer, E. M. y Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 5, 560-564.
- Founda, D. y Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and heat waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). *Scientific Reports*, (7), 10973. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11407-6>.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM.
- García-Cueto, O. R., Jáuregui, O. E., Toudert, D. y Tejeda-Martínez, A. (2007). Detection of the Urban Heat Island in Mexicali B.C., Mexico and Its Relationship with Land Use. *Atmosfera*, (20), 111-131.

- García-Cueto, O. R., Tejeda-Martínez, A. y Jáuregui, E. (2009). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of Mexico: current trends and in climate change scenarios. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 335-345. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0283-7>.
- García-Cueto, O. R. y Santillán, N. (2012). Modeling extreme climate events: two case studies in Mexico. En L. M. Druyan (Ed.). *Climate models* (pp. 137-160). Intech.
- Gómez-Martínez, F., de Beurs, K.M., Koch, J. y Widener, J. (2021). Multi-Temporal Land Surface Temperature and Vegetation Greenness in Urban Green Spaces of Puebla, Mexico. *Land*, 10, 155. <https://doi.org/10.3390/land10020155>
- Harlan, S. L. y Rudell, D. M. (2011). Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Environmental Sustainability*, 3, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Inegi.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). *Panorama sociodemográfico de Baja California, Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197735.pdf
- Inzunza-Castro, O. J. (2019). *Identificación y cuantificación de las ondas cálidas en Mexicali, Baja California, México y su impacto en la salud*. Tesis de grado de Maestría en Ciencias, UABC.
- IPCC. (2023). Sections. En Core Writing Team, Lee, H., y Romero J., (eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC, Geneva, Switzerland (pp. 35-115). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jaramillo, R. H. J., López, C. G. y Rodríguez, L. M. (2011). Golpe de calor: un problema de salud pública en Mexicali. *Salud Pública de México*, 53(4), 285-286.
- Jáuregui, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones Geográficas*, (70), 71-76.
- Kalkstein, L. S. (1991). A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality. *Environmental Health Perspectives*, 96, 145-150.
- Kollanus, V., Tiittanen, P. y Lanki, T. (2021). Mortality Risk Related to Heatwaves in Finland—Factors Affecting Vulnerability. *Environmental Research*, 201, 111503. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111503>
- Kosatsky T. (2005). The 2003 European heat waves. *Eurosurveillance*, (10), 148-149.
- Ley-García, J., García-Cueto, O. R., Ortega, G., Venegas, R. y Denegri, F. M. (2006). *Atlas de riesgos naturales y químicos (identificación y zonificación)*. Ciudad de Mexicali, Baja California, México. Sedesol.
- Ley-García, J., Denegri, F. M., García-Cueto, O. R., Venegas-Cardoso, F. R. y Ochoa, M. J. (2011). *Atlas de riesgos del municipio de Mexicali, B.C.* Sedesol.
- Lowe, S. A. (2016). An energy and mortality impact assessment of the urban heat island in the US. *Environmental Impact Assessment Review*, (56), 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.004>
- Ma, W., Zeng, W., Zhou, M., Wang, L., Rutherford, S., Lin, H., Liu, T., Zhang, Y., Xiao, J., Zhang, Y., Wang, X., Gu, X. y Chu, C. (2015). The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: an analysis from 66 communities. *Environment International*, (75), 103-109.
- Mayrhuber, E. A-S., Dückers, M. L. A., Wallner, P., Arnberger, A., Allex, B., Wiesböck, L., Wanka, A., Kolland, F., Eder, R., Hutter, H-P. y Kutalek, R. (2018). Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions – A scoping review. *Environmental Research*, (166), 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.021>
- Muñoz-Pizza, D. M., Sanchez-Rodriguez, R. A. y Gonzalez-Manzano, E. (2023). Linking climate change to urban planning through vulnerability assessment: The case of two cities at the Mexico-US border. *Urban Climate*, (51), 101674. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101674>
- Nairn, J. R. y Fawcett, R. (2013). *Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia*. Centre for Australian Weather and Climate Research (CAWCR) Technical Report 060 Kent Town.
- Navarro-Estupiñán, J., Robles-Morua, A., Díaz-Caravantes, R. y Vivoni, E. R. (2020). Heat risk mapping through spatial analysis of remotely-sensing data and socioeconomic vulnerability in Hermosillo, Mexico. *Urban Climate*, (31), 100576. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100576>
- NIHHS (National Integrated Heat Health Information System). (2023). Who Is Most At Risk To Extreme Heat? Available at <https://www.heat.gov/pages/who-is-at-risk-to-extreme-heat>
- PEACC-BC (Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático en Baja California). (2012). Gobierno de Baja California, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Poumadere, M., Mays, C., Le Mer, S. y Blong, R. (2005). The 2003 heat wave in France: dangerous

- climate change here and now. *Risk Analysis*, 25(6), 1483-1494.
- Robinson, P. J. (2001). On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*, (40), 762-774.
- Santamouris, M., Ban-Weiss, G., Osmond, P., Paolini, R., Synnefa, A., Cartalis, C., Muscio, A., Zinzi, M., Morakinyo, T. E., Ng, E., Tan, Z., Takebayashi, H., Sailor, D., Crank, P., Taha, H., Pisello, A. L., Rossi, F., Zhang, J. y Kolokotsa, D. (2018). Progress in urban greenery mitigation science – assessment methodologies advanced technologies and impact on cities. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(8), 638-671. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6604>
- Secretaría de Salud. 2023. Informes semanales para la vigilancia epidemiológica de temperaturas naturales extremas 2014-2023. Recuperado de <https://www.gob.mx/salud/documentos/informes-semanales-para-la-vigilancia-epidemiologica-de-temperaturas-naturales-extremas-2023>
- Semenza, J. C., Rubin, C. H., Falter, K. H., Selanikio, J. D., Flanders, W. D., Howe, H. L. y Wilhelm, J. L. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England Journal of Medicine*, 335(2), 84-90.
- UABC (Universidad Autónoma de Baja California). (2011). Percepción local del riesgo [encuesta]. Documento inédito.
- Vaidyanathan, A., Malilay, J., Schramm, P. y Saha, S. (2020). Heat-Related Deaths — United States, 2004–2018. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, (69), 729-734. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6924a1>
- van Steen, Y., Ntarladima, A. -M., Grobbee, R., Karsenberg, D. y Vaartjes, I. (2019). Sex Differences in Mortality after Heat Waves: Are Elderly Women at Higher Risk? *International Archives of Occupational Environmental Health*, (92), 37–48. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1360-1>
- Villanueva-Solis, J. (2017). Urban Heat Island Mitigation and Urban Planning: The Case of the Mexicali, B. C. Mexico. *American Journal of Climate Change*, (6), 22-39. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61002>
- Wang, Y., Bobb, J. F., Papi, B., Wang, Y., Kosheleva, A., Di, Q., Schwartz, J. D. y Dominici, F. (2016). Heat stroke admissions during heat waves in 1,916 US counties for the period from 1999 to 2010 and their effect modifiers. *Environmental Health*, 15(83). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0167-3>
- Weinberger, K. R., Harris, D., Spangler, K. R., Zanobetti, A. y Wellenius, G. A. (2020). Estimating the number of excess deaths attributable to heat in 297 United States counties. *Environmental Epidemiology*, 4(3), e096. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000096>
- World Health Organization (WHO). (2010). Climate change and health. Fact Sheet 266, January 2010. WHO.
- World Meteorological Organization and World Health Organization. (2015). *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*. WMO No. 1142.
- Zhang, G., Sun, Z., Han, L., Iyakaremye, V., Xu, Z., Miao, S. y Tong, S. (2023). Avoidable heat-related mortality in China during the 21st century. *npj Climate and Atmospheric Science*, 6(81). <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00404-4>
- Zhou, E., Yu, W., Zhang, Z., Cao, W. y Wu, T. (2023). How can urban green spaces be planned to mitigate urban heat island effect under different climatic backgrounds? A threshold-based perspective. *Science of The Total Environment*, (890), 164422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164422>