

Estimación y características del riesgo meteorotrópico que afecta a la población cubana

Estimation and characteristics of the meteorotropical risk that affects the Cuban population



<https://cu-id.com/2377/v30n3e04>

 Luis B. Lecha Estela^{1*},  Edgardo Soler Torres¹,  Luis Sánchez Suárez¹,
 Surisley Torres Gutiérrez¹,  Luis O. Pichardo Moya²,  Enardo Pena Alonso³

¹Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Isla de la Juventud, Cuba.

²Delegación Provincial del CITMA en Villa Clara, Villa Clara, Cuba.

³Agencia GeoMix, Empresa GEOCUBA Investigación y Consultoría, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN: Los efectos desfavorables de las condiciones meteorológicas sobre la salud de la población cubana están aumentando en frecuencia e intensidad, debido a los impactos ya visibles del cambio climático sobre Cuba, problema que demanda realizar la evaluación de la vulnerabilidad de la población cubana ante los peligros regionales asociados a los procesos meteorológicos que influyen sobre el país. Se realiza una adaptación de la metodología utilizada en Cuba para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo, aplicada en este caso a la estimación del riesgo meteorotrópico, a partir de establecer la línea base de la mortalidad general diaria en exceso para el período 2001-2020, como indicador de la vulnerabilidad de las poblaciones residentes en las mitades occidental y oriental de Cuba; para después estimar el peligro asociado a los procesos sinópticos de escala global y regional que influyen sobre esas mismas porciones del territorio. Se demuestra que existe una relación bien definida entre la mortalidad en exceso y los peligros analizados, lo cual permitió estimar satisfactoriamente la magnitud del riesgo meteorotrópico diario y llegar a un modelo estadístico que facilita su pronóstico a corto plazo. Se comprueba la génesis meteorotrópica de los días con mayor mortalidad en exceso, tanto en invierno como en verano, demostrando el relevante papel que tienen algunos procesos y condiciones meteorológicas sobre la salud de la población cubana, hecho que justifica la necesidad de su pronóstico y mitigación.

Palabras clave: Vulnerabilidad colectiva, peligros meteorológicos regionales, riesgo meteorotrópico, mortalidad en exceso, pronósticos biometeorológicos.

ABSTRACT: The unfavorable effects of meteorological conditions on the health of the Cuban population are increasing in frequency and intensity, due to the already visible impacts of climate change on Cuba, a problem that demands an evaluation of the vulnerability of the Cuban population to regional dangers. Associated with the meteorological processes that influence the country. An adaptation of the methodology used in Cuba for studies of danger, vulnerability and risk is carried out, applied in this case to the estimation of meteor-tropical risk, based on establishing the baseline of the general daily excess mortality for the period. 2001-2020, as an indicator of the vulnerability of the populations residing in the western and eastern halves of Cuba; to then estimate the danger associated with global and regional synoptic processes that influence those same portions of the territory. It is demonstrated that there is a well-defined relationship between excess mortality and the hazards analyzed, which allowed us to satisfactorily estimate the magnitude of the daily meteor-tropical risk and arrive at a statistical model that facilitates its short-term forecast. The meteor-tropical genesis of the days with the highest excess mortality is verified, both in winter and summer, demonstrating the relevant role that some meteorological processes and conditions have on the health of the Cuban population, a fact that justifies the need for its forecast and mitigation.

Keywords: Collective vulnerability, regional meteorological hazards, meteor-tropical risk, excess mortality, biometeorological forecasts.

*Autor para correspondencia: Luis B. Lecha Estela. E-mail: luis.lecha@gmail.com

Recibido: 27/04/2024

Aceptado: 14/05/2024

Conflicto de intereses: Los autores del artículo científico, declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Luis B. Lecha Estela: **tuvo a su cargo el diseño del procedimiento para estimar el riesgo meteorotrópico, a partir de definir los conceptos de vulnerabilidad meteorotrópica colectiva de la población cubana y el método para estimar objetivamente los peligros regionales. También realizó el proceso estadístico de los datos experimentales.** Edgardo Soler Torres: **se encargó del procesamiento y análisis de los macroprocesos de la región América, así como de su relación con los elementos del clima local.** Luis Sánchez Suárez: **procesó la base de datos de los TSS y analizó su vínculo con la mortalidad diaria.** Luis O. Pichardo Moya, Enardo Pena Alonso y Surisley Torres Gutiérrez: **tuvieron a su cargo el proceso y elaboración de las salidas cartográficas de la investigación.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Las condiciones meteorológicas mantienen una relación constante y diversa con el hombre, la cual llega a ser un factor de riesgo para la vida durante el impacto de los efectos meteorotrópicos extremos, capaces de provocar situaciones sanitarias muy complejas y se reconocen como un peligro relevante para la salud humana. Estos efectos se definen como: *las influencias complejas del estado del tiempo sobre la salud humana, con la capacidad de provocar meteoropatías masivas y diversas, incluyendo la muerte, en los grupos vulnerables de la población expuesta* (Lecha, 2019).

Los impactos de los efectos meteorotrópicos sobre la salud humana dependen tanto de la intensidad y duración del estímulo biotrópico, como de la capacidad de adaptación de la población expuesta, la cual a su vez está condicionada por múltiples factores.

Son pocas las publicaciones científicas que refieren estudios comparativos entre las condiciones meteorológicas diarias y el comportamiento sincrónico de algunos indicadores de la fisiología individual durante la ocurrencia masiva de meteoropatías específicas en un territorio de gran extensión geográfica (Chevez *et al.*, 2020); pero los resultados obtenidos en el Cardiocentro de Villa Clara por Lecha *et al.*, (2016), son antecedentes principales del presente trabajo, porque dieron el fundamento para la evaluación del riesgo meteorotrópico individual, con ayuda de la tecnología que permite el monitoreo ambulatorio de la presión arterial (MAPA), aplicado a muestras representativas de la población local.

Mediante el MAPA se pueden identificar las anomalías que ocurren durante las pruebas individuales y asociar su ocurrencia con el peligro que representan las condiciones influyentes del estado del tiempo, lo cual unido al análisis de los factores de riesgo de cada paciente, como elementos de vulnerabilidad, contribuyó a diseñar una metodología que permite estimar el riesgo meteorotrópico de forma personalizada.

Sin embargo, todavía no existe un procedimiento similar para evaluar la vulnerabilidad meteorotrópica colectiva de una población dada, problema muy complejo, dada la diversidad de factores que condicionan la meteorolabilidad de los seres humanos en las diferentes zonas del planeta.

Otro fundamento metodológico muy importante de estas investigaciones se encuentra en los estudios cubanos de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) para el manejo y reducción de desastres, elaborados a partir de la Directiva No. 1/2010, del Consejo de Defensa Nacional, actualizada en el año 2022 (CDN, 2022), pues estos estudios aplican una metodología que puede ser utilizada para estimar tanto el riesgo meteorotrópico individual como el regional.

Para estimar el riesgo meteorotrópico regional que afecta a la población cubana, primero se requiere estimar la vulnerabilidad colectiva de la población, para después identificar los peligros asociados a los procesos meteorológicos regionales que pueden afectar la salud de los cubanos. Ambos estimados son complejos y son escasos los antecedentes localizados al respecto (Brooks, 2003; De la Noval *et al.*, 2011). Los procesos y métodos aplicados durante el desarrollo de la investigación tuvieron en cuenta los resultados de las pocas fuentes de información médica y meteorológica encontradas (Ebi *et al.*, 2021; Panagiotis y Matzarakis, 2021; Jalalzadeh *et al.*, 2021).

La necesidad de evaluar el riesgo meteorotrópico regional que afecta a la población cubana está dada por la creciente incidencia de efectos meteorotrópicos extremos, asociada a los impactos ya visibles del cambio climático global en la región del Caribe y específicamente en Cuba, según se viene explicando en los informes nacionales sucesivos del país a la Convención Marco de las NN.UU. sobre el Cambio Climático (Planos y Gutiérrez, 2020).

Resultados recientes de investigaciones en marcha van poniendo en evidencia los cambios que están teniendo lugar en los procesos de la circulación atmosférica que actúan como factores formadores del clima de Cuba (Soler y Lecha, 2023; Soler *et al.*, 2020a; Lecha *et al.*, 2023), así como las consecuencias de la variabilidad del clima y el tiempo sobre la salud de la población local (Colectivo de Autores, 2022).

El objetivo de la investigación es diseñar un procedimiento que permita evaluar el riesgo meteorotrópico regional a que se expone la población cubana; considerando los fundamentos metodológicos ya disponibles en los estudios cubanos de PVR y como contribución a la mitigación en el país de las consecuencias sanitarias asociadas al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los factores de riesgo constituyen una probabilidad, tienen valor predictivo y pueden usarse con ventajas tanto en prevención individual como en la comunidad (Ordaz, 1996). El concepto de riesgo puede tener interpretaciones diferentes para distintas personas o circunstancias. En el presente trabajo se utilizarán los dos significados más comunes: el riesgo como probabilidad de que se produzca un resultado adverso, o como factor que aumenta esa probabilidad.

Según (Last, 2001): “El riesgo puede denotar una probabilidad”. Por ejemplo: ¿cuál es el riesgo de tener un accidente del tránsito?; o también puede ser un factor que aumenta la probabilidad de sufrir una meteoropatía.

El riesgo puede denotar una consecuencia: ¿cuál es la probabilidad de morir durante el paso de un huracán?; o puede expresar una adversidad o amenaza potencial, cuando se analiza desde el punto de vista del riesgo de tener una crisis de salud en el invierno.

La metodología que se aplica en Cuba para los estudios de PVR estima los riesgos asociados a los desastres de origen natural mediante el cálculo del riesgo total (R_t), que tiene la expresión:

$$R_t = \sum_{t=1}^n V_t \times P_t \quad (1)$$

Donde V_t es la vulnerabilidad total y P_t es la representación del peligro total.

Desde este enfoque, la tarea a resolver consiste en estimar objetivamente el riesgo de la población cubana expuesta y vulnerable a los peligros asociados a las condiciones meteorológicas regionales influyentes sobre el país.

El cálculo de la vulnerabilidad colectiva

La vulnerabilidad es un concepto muy amplio y entre las variadas definiciones encontradas, se consideró apropiada la propuesta por Peña (2019), referida a la vulnerabilidad humana en casos de desastres de origen natural, que define esta vulnerabilidad como: *la falta de preparación o capacidad de las personas, familias o comunidades para enfrentar los eventos físicos peligrosos de origen natural.*

En Cuba, se considera como vulnerabilidad ante un desastre: *“la predisposición de sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad; y se manifiesta en función de las condiciones físicas, económicas, sociales, políticas, técnicas, ideológicas, culturales, educativas, ecológicas e institucionales”* (AMA, 2017).

Por esta razón, se analizaron los parámetros disponibles dentro de las estadísticas nacionales de salud, que podían ser utilizados como indicadores de la vulnerabilidad colectiva de la población cubana y que, además, deben ser comparables con la dinámica espacio-temporal de los procesos sinópticos que influyen sobre el país, representativos de los peligros meteorotrópicos regionales.

Como resultado, se consideró que la mortalidad diaria podía ser utilizada como indicador de la vulnerabilidad colectiva del cubano, pero no se encontraron referencias en la literatura consultada, sobre el uso de la mortalidad general diaria como indicador de vulnerabilidad, por lo cual esta decisión se apoyó en los argumentos siguientes:

En primer lugar, las tasas de la mortalidad general suelen ser interpretadas como un indicador del “riesgo de morir” y pudiera haber redundancia en el cálculo

final del riesgo meteorotrópico; pero tampoco se han encontrado criterios que no permitan hacer tal asociación.

La definición dada por Villa (2001) combina el riesgo y la vulnerabilidad:

“Por vulnerabilidad se entiende el riesgo o probabilidad de que un individuo, un hogar o una comunidad pueda ser lesionada o dañada a raíz de cambios en las condiciones del contexto en que se ubica o en virtud de sus propias limitaciones”.

Araujo (2015) considera que la exposición a riesgos es también una expresión de vulnerabilidad social en un sentido amplio, y plantea los siguientes conceptos:

- “Un enfoque comúnmente utilizado para afrontar situaciones vulnerables es el de la reducción de riesgos. La vulnerabilidad es la disposición interna a ser afectado por una amenaza. Si no existe vulnerabilidad no se produce la destrucción. Depende del grado de exposición, de la protección, de la reacción inmediata, de la recuperación básica y de la reconstrucción. La prevención de riesgos por reducción de la vulnerabilidad se logra cuando se actúa sobre las áreas que la componen”.*
- “El problema del análisis de riesgo de las personas, los grupos sociales o las poblaciones no constituye para los estudios en salud un análisis cualquiera, sino que parte de la esencia misma de las evaluaciones en salud.*
- Recordemos que: partiendo del propio concepto de vulnerabilidad, la misma se define como la **exposición continuada al riesgo**. Desde ese punto de vista, el concepto de riesgo constituye un fundamento metodológico esencial de las ciencias de la salud. Si bien el riesgo indica la probabilidad de ocurrencia, la vulnerabilidad es un indicador de inequidad y de desigualdad”.*

A partir de estos fundamentos metodológicos se tomó la decisión de utilizar la mortalidad diaria como un indicador preliminar de la vulnerabilidad colectiva de la población cubana ante los efectos meteorotrópicos. Sin embargo, dentro de las estadísticas de la mortalidad diaria, se pueden considerar la cantidad de muertes o sus tasas diarias, interpretando estas como representativas del riesgo de morir. También se puede utilizar la suma de la mortalidad en un período de días sucesivos; y si se dispone previamente de una línea base de referencia, se puede utilizar la mortalidad diaria en exceso, que es la variable recomendada para analizar los impactos de diversos factores externos y extraordinarios sobre la mortalidad.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la mortalidad es un suceso multifactorial y cuando se analiza a nivel individual está determinada por muy diversas causas,

pero el estimado de la mortalidad colectiva se refiere a su incidencia diaria en un territorio grande, que en el presente estudio son las provincias individuales, las agrupaciones de provincias en las dos mitades de Cuba o la incidencia nacional.

Lo anterior se justifica porque se necesita comparar la mortalidad colectiva en esos territorios con la incidencia diaria de los procesos de la circulación general de la atmósfera (que actúan a escala global o hemisférica), los tipos de situaciones sinópticas (influyentes a nivel regional) sobre una u otra mitad del país; y finalmente, con el comportamiento de elementos seleccionados del clima local, por ejemplo: los promedios diarios también regionales y nacional de las temperaturas máximas y mínimas del aire, todo esto calculado día tras día para los 20 años del periodo 2001-2020.

Si este enfoque regional de la mortalidad diaria se aplica a las estadísticas de la mortalidad en exceso, se obvia la influencia de la mayoría de los factores de riesgo externos sobre la mortalidad, incluyendo las condiciones de vida de la población, así como los determinantes sociales y económicos que influyen sobre la mortalidad al nivel local e individual, pues todos estos factores externos, excepto los ambientales, producen efectos constantes durante períodos relativamente largos de tiempo, no cambian de un día al siguiente y ninguno de ellos puede justificar la ocurrencia de los máximos diarios notables de la mortalidad en exceso. No obstante, si se debe obviar la mortalidad en exceso provocada por los accidentes de todo tipo, las epidemias como la Covid-19 u otros desastres posibles de origen natural, para garantizar que las condiciones meteorológicas influyentes sean el único factor externo vinculado al estimado de la vulnerabilidad meteoro-trópica colectiva, basado en el comportamiento regional de la mortalidad diaria en exceso.

Esta manera de apreciar la vulnerabilidad colectiva es más general y menos específica desde el punto de vista sanitario, porque se necesita que esté vinculada con variables meteorológicas que actúan en escalas espacio-temporales muy grandes, pero permite expresar matemáticamente el concepto de vulnerabilidad meteoro-trópica colectiva en la forma siguiente:

$$V_{mtc} = \sum_{i=1}^n Ve(i) + Ve(2) + \dots + Ve(n) \quad (2)$$

Donde:

$Ve(i)$: puede ser la mortalidad diaria en exceso de los municipios que integran una provincia, o la mortalidad diaria en exceso de las provincias que integran una región, o la mortalidad diaria en exceso de las regiones que integran el país, según el caso.

V_{mtc} : es la vulnerabilidad meteoro-trópica colectiva del territorio escogido.

Como mitad occidental se consideraron las provincias desde Pinar del Río hasta Sancti Spíritus, incluyendo el municipio especial de la Isla de la Juventud y como mitad oriental el resto de las provincias desde Ciego de Ávila hasta Guantánamo.

El cálculo de los peligros regionales

Desde el lado meteorológico, se consideraron varios parámetros para evaluar los peligros regionales, cuidando que estos fueran representativos de las tres escalas de referencia espacio-temporal que se utilizan en la Meteorología, o sea, en la escala global o hemisférica: la clasificación diaria de los macroprocesos de la circulación atmosférica que ocurren en la región América (MPC); en la escala regional: la clasificación diaria de los tipos de situaciones sinópticas (TSS) que influyeron sobre las mitades occidental y oriental del país; y en la escala local o de impacto: las series diarias de las temperaturas máximas y mínimas del aire de 68 estaciones meteorológicas cubanas activas; todo ello en el período 2001-2020.

La circulación general de la atmósfera (CGA) es el sistema fundamental a gran escala del movimiento del aire en la troposfera, la estratosfera y en la baja mesosfera. Las características de los procesos globales ofrecen el marco general de referencia para comprender cómo van cambiando a largo plazo y gradualmente los patrones de adaptación climática de las distintas poblaciones del planeta. En este nivel de referencia, la variabilidad multianual del clima tiene un peso determinante en la definición de los impactos del cambio climático global.

Los macroprocesos de la circulación atmosférica son el resultado de una clasificación genérica de las direcciones de los flujos de masa y energía dentro de la atmósfera, que resultan muy útiles para asociar ciertas direcciones del viento con la influencia de los mecanismos de advección. Así, cuando se analizan los tipos de circulación que influyen sobre una región dada, se obtiene una clara representación de la génesis del clima local y de los procesos meteorológicos regionales que tienen la capacidad de generar efectos meteoro-trópicos sobre la población de un país.

Estos macroprocesos de la CGA determinan a nivel global los tipos y características de las regiones sinóptico naturales y sus frecuencias estacionales de ocurrencia (Alisov y Poltarau, 1974). En la investigación, se consideró la clasificación hemisférica de los macroprocesos de la CGA elaborada por Dzerdzeievskii (1968), actualizada y ampliada por Kononova (2009, 2016) con la incorporación de los macroprocesos regionales de la CGA, uno de los cuales corresponde a la región América, comprendida por el sector de los 60° a 120° de longitud oeste del hemisferio norte.

Los macroprocesos se definen según la dirección principal del flujo de masa y energía, teniendo en cuenta la presencia de posibles bloqueos anticiclónicos y son los siguientes:

- AME 1: latitudinal del oeste.
- AME 2: longitudinal del norte.
- AME 3: longitudinal del sur.
- AME 4: latitudinal del oeste y longitudinal del sur.
- AME 5: latitudinal del oeste con intercambios en posición estacionaria.
- AME 6: longitudinal del norte con intercambios en posición estacionaria.
- AME 7: longitudinal del norte y latitudinal del este.
- AME 8: longitudinal del norte y latitudinal del oeste.
- AME 9: longitudinal del norte y longitudinal del sur, en zonas adyacentes no concurrentes.
- AME 10: longitudinal del sur con intercambios en posición estacionaria.

En el nivel regional, la estacionalidad desempeña el papel determinante, ya que los cambios estacionales de los patrones de adaptación se expresan de manera secuencial de una época del año a la siguiente, condicionando las migraciones transitorias de grandes grupos de poblaciones animales y humanas.

En el primer caso, las migraciones de aves son el ejemplo típico; y en el hombre se observa mediante masivos movimientos turísticos estacionales. En este sentido, es importante conocer la época del año en que la población encuentra su bienestar térmico, pues en la medida que la población residente se aleje de su zona de confort, aumentará la posibilidad de ocurrencia de las meteoropatías estacionales.

$$FIB = \frac{\text{Suma de frecuencias de intervalos críticos de mortalidad}}{\text{Frec. del intervalo meteorológico correspondiente}} \quad (3)$$

En consecuencia, los efectos meteoro-trópicos se manifiestan y estudian mediante la distribución y características de los tipos de situaciones sinópticas (TSS). En este caso, se utilizó la clasificación diaria de los TSS para las mitades occidental y oriental de Cuba, que contiene el Catálogo elaborado por Soler *et al.* (2020b), a partir de la clasificación de Lapinel (1988), considerando los tipos siguientes:

- TSS I: Influencia cercana del anticiclón oceánico.
- TSS II: Influencia lejana del anticiclón oceánico.
- TSS III: Débil gradiente de presión.
- TSS IV: Ciclón tropical.
- TSS V: Ondas y hondonadas.
- TSS VI: Ciclones extratropicales.
- TSS VII: Sistemas Frontales.
- TSS VIII: Anticiclones continentales.

Por último, en el nivel local o de impacto es donde la influencia de las condiciones meteorológicas está

relacionada con los cambios bruscos (contrastantes) a corto plazo del estado del tiempo, dada la persistencia de ciertas condiciones atmosféricas predisponentes para la salud humana, así como la influencia de otros factores ambientales y físico-geográficos. A este nivel se trabajó con los promedios regionales diarios de las temperaturas máximas y mínimas del aire en 68 localidades, distribuidas entre las mitades occidental y oriental del país.

El factor de impacto biotrópico

Durante el proceso de estimar el peligro que representan los distintos procesos meteorológicos para la salud humana, Lecha *et al.*, (2022) tuvieron necesidad de establecer un indicador estandarizado para ponderar y evaluar la magnitud del peligro meteoro-trópico asociado a un proceso o elemento meteorológico. Este nuevo indicador se denominó como *factor de impacto biotrópico (FIB)*; y se obtuvo en este caso, a partir del análisis 2D por pares de elementos, utilizando tablas de contingencia, entre los cuatro parámetros del lado meteorológico y la mortalidad diaria en exceso, excluyendo los accidentes y la Covid-19.

El *FIB* se calcula a partir de las salidas del programa *TabCont*, que calcula las frecuencias relativas de los intervalos de interconexión formados al combinar las dos variables que integran cada tabla de contingencia: una del área meteorológica versus la mortalidad diaria en exceso. Se define matemáticamente como: *la proporción entre la suma de las frecuencias de los intervalos críticos de la mortalidad diaria, con respecto a la frecuencia relativa de cada intervalo de clase en que se estratificó la variable meteorológica, o sea:*

A partir del *FIB*, se obtiene objetivamente la magnitud del peligro meteoro-trópico de los procesos y elementos meteorológicos que actúan sobre la mortalidad diaria en exceso; pero sus resultados deben ser expresados de forma estandarizada, porque el rango de valores que puede alcanzar el *FIB* de cada variable es muy diferente. El proceso de estandarización permite que los valores del *FIB* queden acotados entre 0 y 1, condición imprescindible para poder comparar los resultados de todos los peligros. Ocasionalmente, algunos valores de las series ajustadas de los peligros regionales pueden dar un *FIB* negativo, en cuyo caso, estos valores se consideran como cero.

En consecuencia, el riesgo meteoro-trópico colectivo (*Rmtc*) puede ser formulado como: *el riesgo o probabilidad de que ocurran condiciones meteorológicas capaces de provocar meteoropatías diversas y masivas, incluyendo la muerte, entre los*

grupos vulnerables de la población cubana, razón por la cual la expresión (1) para el cálculo del riesgo meteorológico colectivo, se puede expresar en la forma:

$$Rmtc = \sum_{t=1}^n Vmtc \times Pmtc \quad (4)$$

Donde:

Vmtc: es la vulnerabilidad meteorológica colectiva de la población de una provincia, región o el país, que se determina mediante la mortalidad diaria en exceso filtrada adecuadamente.

Pmtc: es la influencia conjunta de los peligros meteorológicos regionales seleccionados que actúan sobre la población expuesta.

Estimación del riesgo meteorológico regional

A partir de los resultados de Lecha *et al.*, 2024, se puede afirmar que se dispone de una metodología preliminar, pero válida y funcional, para estimar el riesgo meteorológico individual. Entonces, aplicando los mismos principios, se utilizó ese enfoque para estimar el riesgo meteorológico regional.

Como indicadores de la vulnerabilidad colectiva se utilizaron los datos de la mortalidad diaria de todos los municipios del país, a partir de los cuales se calculó la línea base de la mortalidad diaria en exceso del período 2001-2020 como variable de referencia para estimar la vulnerabilidad colectiva a niveles regional y nacional.

La magnitud de los peligros meteorológicos se estimó a partir de las relaciones existentes entre los MPC, los TSS y las temperaturas extremas diarias del aire con la mortalidad en exceso, las cuales se establecieron para toda Cuba y cada mitad del país.

En una primera aproximación, el cálculo del riesgo diario total (**Rdt**) se puede plantear matemáticamente como:

$$Rdt(Cuba) = Rd(occidente) + Rd(orientación) \quad (5)$$

Donde:

Rdt (Cuba): es el riesgo meteorológico diario de la población cubana, calculado mediante la suma del riesgo de las poblaciones de las mitades occidental y oriental de Cuba, asociado a los procesos meteorológicos influyentes desde la escala global hasta la escala local o de impacto.

Rd (occidente): es el riesgo diario específico de la mitad occidental de Cuba, calculado mediante la expresión:

$$Rd(occidente) = MortEx(occid) \times \sum_{i=1}^n Pi(MPC, TSS, Tx, Tn) \quad (6)$$

Rd (orientación): es el riesgo diario específico de la mitad oriental de Cuba, calculado mediante la expresión:

$$Rd(orientación) = MortEx(orientación) \times \sum_{i=1}^n Pi(MPC, TSS, Tx, Tn) \quad (7)$$

Donde:

MortEx(occidente) y **MortEx(orientación)**: son las tasas diarias por 1,000 habitantes de la mortalidad en exceso de las mitades occidental y oriental de Cuba, obtenidas de la línea base de referencia del período 2001-2020.

Pi: es la suma de los cuatro **FIB** estandarizados de los peligros asociados a los MPC del sector América, a la influencia de los TSS sobre la mitad occidental y sobre la mitad oriental, así como de los promedios diarios de las temperaturas máximas y mínimas del aire en occidente y orientación.

El cálculo de la mortalidad en exceso

Para clasificar los días en que hubo mortalidad en exceso y poder establecer los diferentes umbrales y características de dicha mortalidad extraordinaria, se partió del enfoque más general y aceptado, que considera *la mortalidad en exceso como aquella que supera la norma habitual en un lugar y momento dados* (Montero *et al.*, 2012).

De acuerdo con lo anterior, el cálculo de la mortalidad en exceso requiere de una línea base que pueda caracterizar el comportamiento habitual o normal de esa variable en el lugar bajo estudio. Sin embargo, las series de datos municipales, especialmente de los municipios con menos de 100,000 habitantes (la mayoría del país) presentan muchos días sin mortalidad, siendo poco representativo el cálculo de la mortalidad diaria en exceso, por lo cual este indicador se debe utilizar solo para calcular el riesgo meteorológico colectivo de territorios bien poblados.

El cálculo diario de la mortalidad en exceso se realizó a partir de las sumas diarias regionales, aplicando la metodología del Sistema de Monitoreo de la Mortalidad Diaria (MoMo), desarrollado por el Centro Nacional de Epidemiología del Instituto de Salud Carlos III de Madrid, España, el cual resulta más apropiado para elaborar una línea base de este indicador, porque permite identificar las desviaciones de la mortalidad diaria observada en las diferentes unidades territoriales de referencia, con respecto a la esperada según las series históricas de dichas unidades territoriales.

La línea base de referencia de la mortalidad diaria obtenida para Cuba y sus dos mitades territoriales contienen cada caso los 366 promedios diarios de la mortalidad general y en exceso del período 2001-2020. Contra ella se compara el comportamiento diario real de la mortalidad general o en exceso, calculando para ello el índice Z-Score y determinando la diferencia diaria entre los valores de la mortalidad diaria real con Z-Score mayor que 1 y la suma de la media más la desviación estándar, mediante las expresiones:

$$Z - Score = \frac{Xi - Xmed}{DE} > 1 \quad (8)$$

$$MortEx = Xi(> 1) - (Xmed + DE) \quad (9)$$

Donde:

Xi: es el elemento *i*-ésimo de la serie temporal de la mortalidad real.

Xmed: es la media de la mortalidad de la serie temporal de referencia.

DE: es la desviación estándar de la mortalidad de la serie temporal de referencia.

Solo se consideran los valores de Z-Score mayores a la unidad, para garantizar que la suma de la mortalidad diaria exceda al umbral correspondiente (media + DE), obteniendo así las cifras de la mortalidad en exceso.

Se trabajó tanto con los valores absolutos de la mortalidad general y en exceso, como con sus tasas brutas para el proceso cartográfico realizado, según los mapas o el análisis espacio-temporal a realizar. Para el cálculo de las tasas brutas se tomó como referencia la población del año 2010 de cada municipio y provincia, por ser el año medio del período analizado. Las tasas brutas se calcularon por la expresión dada por:

$$Tasas = \left(\frac{Mort}{Pob}\right)10^n \quad (10)$$

Donde:

Mort: es el valor de la mortalidad general o en exceso, correspondiente al período de tiempo cronológico seleccionado (año o mes).

Pob: es la población de la provincia o municipio dado en el año 2010.

10ⁿ: valor de ajuste de la población de referencia. En este caso 1,000 habitantes (10³) para ambos tipos de mortalidad.

Correspondencia entre mortalidad colectiva y los peligros regionales

Para el análisis de correspondencia entre las series meteorológicas y los datos sanitarios, la mortalidad diaria en exceso de Cuba y sus mitades occidental

y oriental se categorizó en intervalos de clase desde menos de 10 hasta más de 60 fallecidos/día, con un paso de 10. En la contraparte meteorológica, los números arábigos de las series temporales de los 10 MPC y de los 19 subtipos de situaciones sinópticas se consideraron como las categorías directas de cada día que influyeron sobre las mitades occidental y oriental de Cuba.

Por último, los promedios diarios nacionales y por regiones de las temperaturas máximas y mínimas del aire, obtenidos de las 68 estaciones meteorológicas con datos del período 2001-2020, se categorizaron en intervalos desde menos de 21°C hasta más de 33°C (paso de 3°C) para las temperaturas máximas y desde menos de 12°C hasta más de 24°C (paso de 3°C también) para las mínimas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Características de la mortalidad general y en exceso en Cuba

La mortalidad general diaria ocurrida en el período 2001-2020 en los municipios, provincias, regiones y épocas del año se archivó, revisó y procesó mediante una base de datos propia, calculándose los estadígrafos principales de las series temporales diarias, mensuales y anuales, por municipios, provincias, épocas del año, de las mitades occidental y oriental, así como para Cuba en total. Por el valor e importancia epidemiológica de esta información, la misma será publicada en un trabajo aparte, dando a continuación solamente algunas características generales.

En los 20 años del período estudiado, en Cuba se registró una mortalidad general de 1 millón 823,602 personas, con una tasa anual de 8.1 muertes cada 1,000 hab. La provincia de la Habana registra el máximo nacional con una tasa de 10.8 muertes por 1,000 hab. y el mínimo ocurre en el municipio especial de la Isla de la Juventud, con una tasa anual de 5.6 muertes cada 1,000 hab. (Fig. 1).

Con respecto al comportamiento de la mortalidad general por provincias, la Habana presenta el máximo nacional con el 25.2 % del total de fallecidos en el país, le siguen otras tres provincias: Santiago de Cuba, Villa Clara y Holguín, todas con tasas anuales superiores al 8 %. Así, en solo cuatro provincias cubanas se concentra la mitad de la mortalidad general ocurrida en Cuba durante el período analizado.

El mapa anual de las tasas provinciales de la mortalidad general en Cuba muestra la distribución geográfica de los máximos nacionales, que se ubican en las provincias de La Habana (10.8) y Villa Clara (9.3), seguidas por el resto de las provincias centrales y Camagüey. El mínimo está en la Isla de la Juventud (Fig. 2).

La característica predominante de las tasas anuales de la mortalidad general en Cuba es su aumento gradual durante todo el período estudiado, lo cual se traduce en un aumento del riesgo de morir, pero hay marcadas diferencias entre provincias. Al comparar la diferencia de las tasas del año 2020 con las del 2001, la Isla de la Juventud aumenta el riesgo de muerte hasta el 91.3 %, seguida de Artemisa (74.3 %) y Mayabeque (64.1 %); mientras que la Habana (20.3 %) y Matanzas (37.4 %) tienen valores inferiores.

Las provincias orientales tienen tasas inferiores a las occidentales. Camagüey y Ciego de Ávila muestran los máximos de la región, con tasas de 8.0 y 7.6 fallecidos por 1,000 habitantes, mientras que los mínimos corresponden a Las Tunas y Guantánamo, con tasas de 6.7 y 6.1 muertes por 1,000 habitantes. También, es mucho menor la dispersión de las series temporales del riesgo de morir en esta parte del país. Para Cuba el riesgo de morir por cualquier causa aumenta 42.3 % en total desde el año 2001 al 2020, siendo marcada la diferencia entre el decenio 2001-2010 y el siguiente 2011-2020 (Fig. 3).

La marcha anual de la mortalidad general presenta dos máximos bien definidos en el país, los cuales ocurren en invierno y en verano, siendo mayor el primero, pero en la medida que se analiza su comportamiento por provincias desde Pinar del Río hasta Guantánamo, se observa que las diferencias provinciales entre el máximo invernal y el estival van disminuyendo, hasta que se invierte en la provincia de Santiago de Cuba, territorio donde el máximo estival es mayor que el invernal.

Características de la mortalidad en exceso

Al total de 1 millón 823,602 muertes registrado en Cuba durante el período 2001-2020, se descontaron 118,829 fallecidos por accidentes de todo tipo a lo largo de toda la serie temporal de 7,305 días. Además, se obvió de la base de datos la mortalidad ocurrida entre septiembre y diciembre de 2020, por estar dicho período afectado por la epidemia de Covid-19, quedando una muestra filtrada de la mortalidad general equivalente a 1 millón 668,597 fallecidos

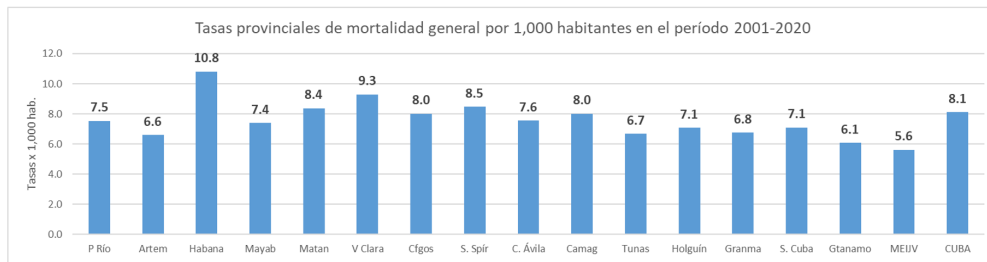


Figura 1. Tasas provinciales por 1,000 hab. de la mortalidad general en Cuba.

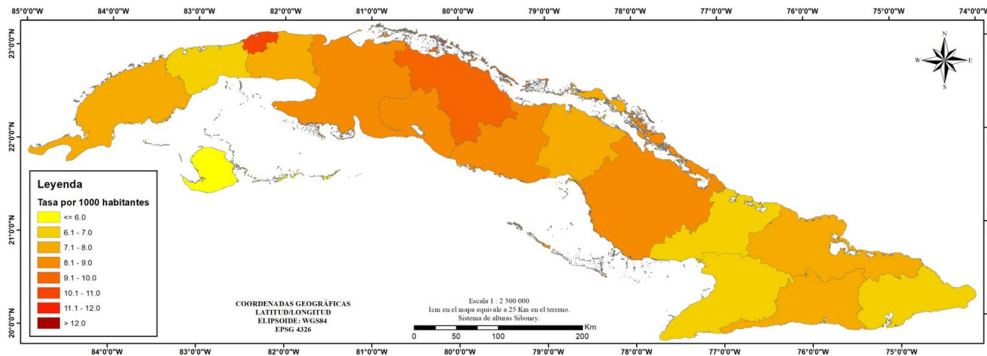


Figura 2. Distribución por provincias de las tasas anuales de la mortalidad general en Cuba (2001-2020).

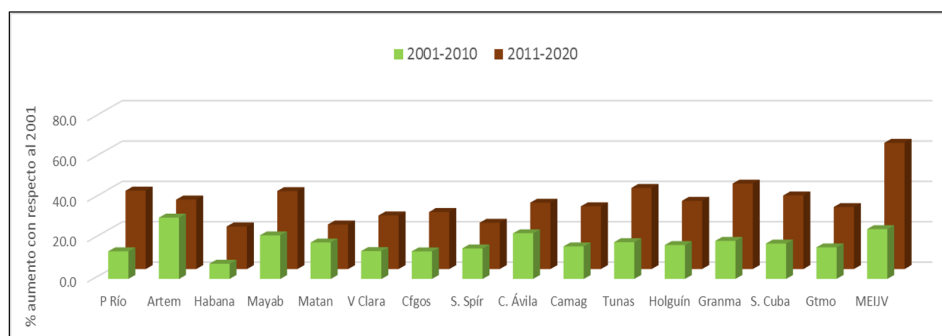


Figura 3. Compara el riesgo de morir por provincias y entre decenios.

entre el 1 de enero de 2001 y el 31 de agosto de 2020, sin accidentes y sin Covid-19.

Sobre esta nueva serie temporal se realizó el cálculo diario de la mortalidad en exceso (MortEx) para todo el país y sus mitades occidental y oriental, el cual arrojó un total nacional de 31,696 fallecidos en exceso, con dos máximos superiores a 120 muertes en exceso, registrados el 24 de enero de 2020 (129) y el 4 de marzo del mismo año 2020 (121), estableciendo una notable diferencia entre los acumulados de cada decenio, pues la mortalidad en exceso acumulada durante el período 2001-2010 fue de solo 3,848 fallecidos, mientras en el decenio siguiente 2011-2020 esa cifra llega a 27,748 muertes, casi nueve veces superior, lo cual se aprecia claramente en la Fig. 4.

El análisis de la mitad occidental muestra el máximo absoluto de la mortalidad en exceso los días 12, 13 y 14 de enero de 2010, con un notable acumulado de 269 fallecidos en exceso en esos tres días. Este evento estuvo asociado a la intensa y prolongada “ola fría” que afectó este territorio entre el 7 y el 19 de enero de 2010, que en total produjo 681 muertes en exceso en toda la mitad occidental del país, muy recordada por sus marcados efectos meteorotrópicos, que actuaron como un notable factor externo predisponente para la ocurrencia de masivos y diversos efectos meteorotrópicos, incluyendo el aumento de la mortalidad en exceso.

Además, como muestra la Tabla 1, en la mitad occidental se reporta la mayoría de los máximos más relevantes de la mortalidad diaria en exceso, encontrados en el período analizado, con 33 días que reportan más de 50 fallecidos en exceso, para un valor total de 2,074 fallecidos. De ellos: dos ocurren en el año 2009, 10 en el 2010, tres en 2014, dos en 2015, dos en 2016, tres en 2017, seis en 2018, uno en 2019 y cuatro en 2020. Todos excepto uno, ocurren en los meses invernales de diciembre a marzo, a razón de 18 en enero, tres en febrero, tres en marzo, uno en agosto y ocho en diciembre.

En la mitad oriental la mortalidad en exceso es mucho menor. Solo se identifican cuatro días con más de 50 fallecidos en exceso, y se localizan: uno en el 2018 y tres en el año 2020 (Fig. 5), pero si resulta relevante el aumento de la ocurrencia de días con MortEx con menos de 50 muertes/día a partir del año 2015. Antes de ese año su incidencia en la mitad oriental era poco frecuente y nunca sobrepasó el umbral de 35 fallecidos diarios en exceso.

El contraste encontrado entre ambas mitades hace interesante su comparación, como muestra la Fig. 6, las diferencias en la cantidad diaria de muertes en exceso, calculada en términos de MortEx occidental menos MortEx oriental pasa gradualmente a ser negativa a partir del año 2015. O sea, se mueve primero a un equilibrio entre occidente y oriente (2012-2014), para ser definitivamente negativa en los últimos años del período analizado.

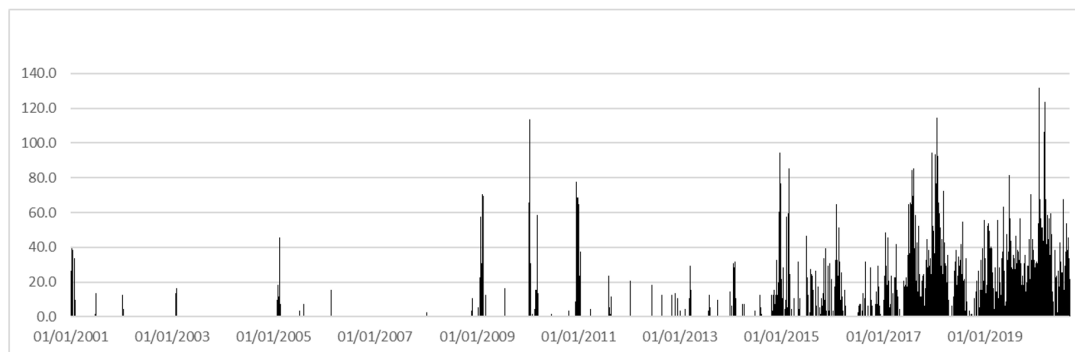


Figura 4. Marcha diaria filtrada de MortEx en Cuba en el período 2001-2020.

Tabla 1. Intervalos de mortalidad en exceso acumulada y cantidad de días con MortEx en la mitad occidental de Cuba (2001-2020).

Clases	MUERTES EN EXCESO			Clases	DÍAS CON MORTEX		
	NC	Frec %	Acum. %		NC	Frec %	Acum. %
<=10	2140	13.33	13.33	<=10	520	47.27	47.27
<=20	4226	26.34	39.67	<=20	297	27.00	74.27
<=30	3225	20.10	59.77	<=30	131	11.91	86.18
<=40	2739	17.07	76.84	<=40	82	7.45	93.64
<=50	1642	10.23	87.08	<=50	37	3.36	97.00
<=60	982	6.12	93.20	<=60	18	1.64	98.64
<=70	445	2.77	95.97	<=70	7	0.64	99.27
<=80	378	2.36	98.33	<=80	5	0.45	99.73
>80	269	1.67	100.00	>80	3	0.27	100.00
SUMAS	16045	100.00		SUMAS	1100	100.00	

La mortalidad en exceso como base para estimar la vulnerabilidad colectiva

Una vez eliminados los accidentes de todo tipo de la base de datos de la mortalidad diaria en exceso, así como el último cuatrimestre del año 2020, donde se manifiesta la influencia de la epidemia de la Covid-19 sobre la mortalidad, se dispone de una base de datos sanitarios válida como elemento de referencia para evaluar la vulnerabilidad colectiva de la población cubana en Cuba y en sus mitades occidental y oriental.

Una vez calculada la mortalidad diaria en exceso de cada región considerada y del país para el período 2001-2020, se procedió a calcular los promedios diarios de dicho indicador para ese período de 20 años; y seguidamente se realizó la ponderación de los valores de cada serie para lograr su estandarización y poder expresar el resultado en términos de la vulnerabilidad colectiva de las poblaciones que viven en esas regiones y en toda Cuba.

Como muestra la Fig. 7, los valores transformados de la mortalidad diaria en exceso dan una imagen muy clara de los cambios estacionales que experimenta la vulnerabilidad meteorológico-tropical colectiva de la población cubana, siendo la marcha anual aproximadamente sincrónica en ambas mitades del país y en toda Cuba.

Como elementos de interés se destacan: la mayor vulnerabilidad de la población oriental en la mayoría de los días del año, excepto en el período comprendido entre la segunda quincena de enero y primera de febrero, en el cual es mayor la vulnerabilidad de la región occidental. Es importante verificar objetivamente que la vulnerabilidad colectiva manifiesta dos máximos estacionales bien definidos, más notable el invernal que el estival, los cuales están en adecuada correspondencia con el comportamiento de los principales procesos y elementos del clima cubano y de las regiones analizadas, pero además, este indicador cambia de manera significativa y adecuada, tanto en el transcurso de la marcha anual como día tras

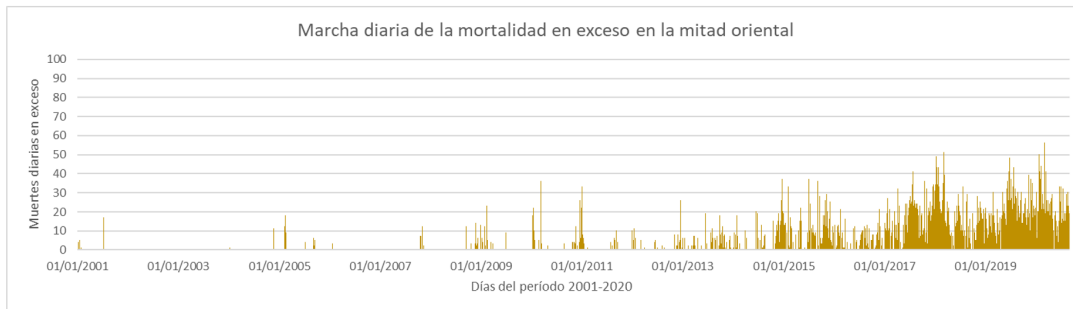


Figura 5. Marcha diaria de MortEx en el oriente de Cuba (2001-2020).

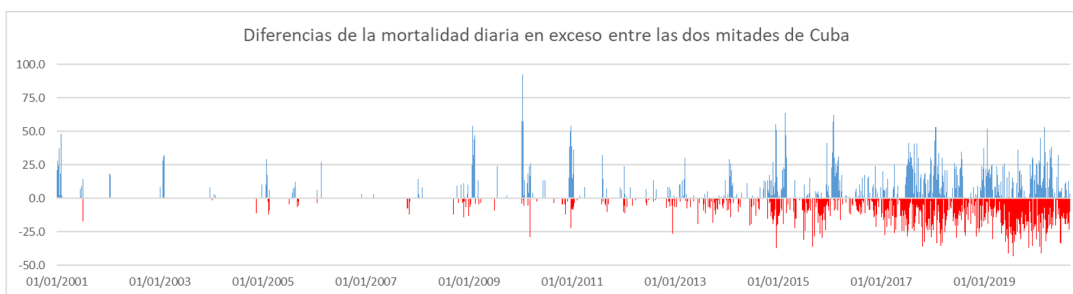


Figura 6. Diferencias de MortEx entre ambas mitades de Cuba (2001-2020).

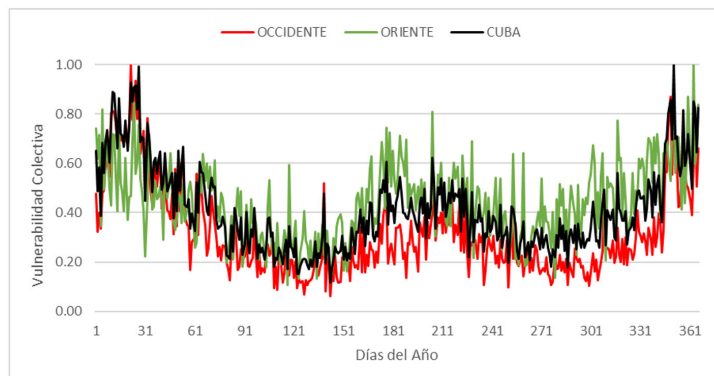


Figura 7. Magnitudes diarias de la vulnerabilidad colectiva.

día, lo cual resulta otra evidencia muy importante de la combinación de efectos biotrópicos que se produce por la acción conjunta de la variabilidad del clima y del estado del tiempo diario, actuando como factores externos predisponentes de la mortalidad diaria en el país.

Relación entre la vulnerabilidad colectiva y los peligros regionales

Los resultados obtenidos del análisis de correspondencia entre la mortalidad diaria en exceso, los procesos sinópticos y las temperaturas extremas del aire se ofrecen en la [Tabla 2](#).

Como se observa, resulta notable que todas las relaciones entre las variables analizadas quedan probadas satisfactoriamente para el exigente nivel de significación de $p=0.005$, excepto en el caso de la asociación entre la mortalidad diaria de la mitad oriental de Cuba y los subtipos sinópticos que influyen sobre esa región, lo cual se logra para un nivel de significación de $p=0.975$, menos exigente, que no deja dudas sobre la diferencia existente entre ambas mitades del país.

Una vez confirmada la existencia de una relación objetiva entre la mortalidad en exceso y los datos representativos de los procesos y elementos meteorológicos, se efectuó el análisis por pares de variables de sus interacciones recíprocas mediante el programa *TabCont*.

Los resultados de la interacción entre la mortalidad en exceso de Cuba y los macroprocesos de la circulación que influyen sobre la región América se ofrecen en la [Tabla 3](#), estando también disponibles los resultados para ambas mitades del país y los valores correspondientes del *FIB* y el *FIB* estandarizado, calculado mediante la suma de las frecuencias de los intervalos con más de 15 fallecidos en exceso por día.

De esta forma el *FIB* estandarizado expresa numéricamente la magnitud del peligro meteorotrópico asociado a los MPC que influyen sobre la región América, incluyendo a Cuba, y que solo en una pequeña fracción de los días del período analizado, llegan a tener un valor realmente peligroso, pero cuando ocurren el impacto sobre la salud de la población es elevado, especialmente en el caso del AME3.

La comparación del *FIB* estandarizado en las dos mitades del país y Cuba completa indica que el macroproceso AME3 resulta el más peligroso, con valores unitarios del *FIB* en los tres territorios. Le sigue AME6 con *FIB* estandarizado que varía entre 0.56 y 0.82, según la región; y después el proceso AME1 ocupa el tercer lugar según el valor del *FIB*, que en este caso oscila entre 0.48 y 0.60. El resto de los MPC tiene valores del *FIB* inferiores a 0.32.

El AME3 está estrechamente asociado a los “Sures” que influyen sobre Cuba. Le sigue AME6, representativo de la condición opuesta: los flujos del “Norte”, muy ligados a la entrada de los frentes

Tabla 2. Resultados del análisis de correspondencia entre la mortalidad, los procesos sinópticos y las temperaturas extremas diarias del aire ($p=0.005$).

Pares de variables comparadas	Grados Libertad	Umbral ($p = 0.005$)	Valor Chi-Cuadrado	Prob. p	Cumple
MortCuba - MEC	32	56.7854	117.650	0.0000	Sí
MortCuba - Tmáx.	16	34.2672	257.372	0.0000	Sí
MortCuba - Tmín.	16	34.2672	238.439	0.0000	Sí
MortOcc - MEC	32	56.7854	112.364	0.0000	Sí
MortOcc - TSS Occ	72	104.215	115.508	0.0009	Sí
MortOcc - Tmáx. Occ.	16	34.2672	353.829	0.0000	Sí
MortOcc - Tmín. Occ.	16	34.2672	383.181	0.0000	Sí
MortOri - MEC	32	56.7854	92.2094	0.0000	Sí
MortOri - TSS Ori	72	104.215	62.6749	0.7753	No
MortOri - Tmáx. Ori	16	34.2672	100.772	0.0000	Sí
MortOri - Tmín. Ori	16	34.2672	60.5045	0.0000	Sí

Tabla 3. Frecuencias por intervalos entre los MPC del sector América y la mortalidad diaria en exceso de toda Cuba.

MortEx	AME1	AME2	AME3	AME4	AME5	AME6	AME8	AME9	AME10
>75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00
<=75	0.24	0.26	0.00	0.11	0.12	0.00	0.00	0.12	0.25
<=60	0.72	0.92	0.00	0.11	0.37	1.60	0.00	0.30	1.10
<=45	1.91	1.45	1.65	0.23	1.22	2.24	0.00	1.62	2.82
<=30	6.46	9.10	6.04	4.20	7.92	5.13	3.68	6.23	6.37
<=15	90.67	88.26	92.31	95.34	89.77	91.03	96.32	91.73	89.46
Sumas	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
FIB	1.3859	0.9618	2.6243	0.3287	0.7738	1.7860	0.6478	0.3076	0.8019
FIB Est.	0.5281	0.3665	1.0000	0.1253	0.2949	0.6805	0.2468	0.1172	0.3056

Nota: el tipo AME7 no se observa en la región.

clásicos; mientras que AME1 es realmente poco frecuente, pues está asociado a los flujos del “Oeste” sobre Cuba, generalmente vinculados a procesos ciclónicos extratropicales con génesis en el Golfo de México o porción meridional de los EE.UU.

A partir de este resultado se puede afirmar que la génesis primaria de los efectos meteoro-trópicos extremos que actúan como un factor predisponente para el aumento de la mortalidad diaria en Cuba está en la influencia los macroprocesos sinópticos más intensos y contrastantes, capaces de producir notables transportes de masa y energía entre la zona continental de Norteamérica y el Caribe, especialmente durante el invierno, época que presenta el mayor peligro para la salud humana en Cuba.

El mismo proceso de análisis bivariado mediante el programa *TabCont* se repitió con los datos de los MPC, los subtipos de situaciones sinópticas y la mortalidad diaria en exceso. Los valores del *FIB* que establecen el nivel de peligro asociado a los MPC del sector América al influir sobre Cuba se muestran en la *Tabla 4*.

Ambas mitades de Cuba muestran diferencias importantes con respecto a la ocurrencia de la mortalidad diaria en exceso, por épocas del año y decenios (*Tablas 5 y 6*). Los subtipos de TSS (STSS) con mayor *FIB* cambian durante el transcurso del año: en el invierno y durante el tránsito del invierno al verano. El subtipo 1 es el más peligroso, pero en el verano cambia abruptamente al subtipo 17 y durante

el tránsito del verano al invierno vuelve a cambiar al subtipo 1. O sea, tanto la influencia anticiclónica oceánica como la continental resultan muy peligrosas cuando su ocurrencia tiene lugar en la época del año en que no es habitual su presencia; y en el contexto anual, así como en ambos decenios, el subtipo con mayor *FIB* es el 9, representativo de la influencia directa de las bajas extratropicales sobre el territorio cubano.

Las características de la relación entre los TSS y la mortalidad en exceso para la mitad oriental de Cuba se presentan en la *Tabla 5*. Se mantiene el subtipo 1 como el de mayor *FIB* en el invierno, pero durante el tránsito del invierno al verano cambia al subtipo 5 (débil gradiente de presión), pasa al subtipo 18 en el verano y regresa al subtipo 1 durante el tránsito del verano al invierno. En la mitad oriental el subtipo anual de mayor *FIB* es el 12 y repite en el decenio más reciente 2011-2020, pero en el decenio anterior es otra variante de la influencia anticiclónica continental, el subtipo 18.

Relación entre la vulnerabilidad colectiva y el régimen térmico local

La relación entre la mortalidad diaria en exceso y los promedios diarios de las temperaturas extremas del aire se evaluó mediante el análisis de correspondencia respectivo para las tres regiones consideradas (*Tabla 7*). Los resultados confirmaron objetivamente

Tabla 4. Valores del FIB estandarizado para los MPC del sector América.

MPC	AME1	AME2	AME3	AME4	AME5	AME6	AME8	AME9	AME10
Occidente	0.5958	0.4036	1.0000	0.0978	0.2949	0.8264	0.1899	0.1053	0.3198
Oriente	0.4863	0.2707	1.0000	0.1637	0.2906	0.5622	0.3583	0.1334	0.2574

Nota: el tipo AME7 no se observa en la región.

Tabla 5. Valores del FIB estandarizado de los TSS occidentales, por épocas.

Subtipos	Anual	Invierno	Invierno-Verano	Verano	Verano-Invierno
1	0.1441	1.0000	1.0000	0.0061	1.0000
2	0.0251	0.0450	0.0000	0.0013	0.9800
3	0.0217	0.0067	0.0073	0.0026	0.0108
4	0.0232	0.0113	0.0082	0.0020	0.0412
5	0.0446	0.0201	0.0627	0.0025	0.0196
6	0.0604	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.324	0.0000	0.1322	0.0017	0.1512
8	0.0352	0.0000	0.0000	0.0097	0.0000
9	1.0000	0.0775	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.2222	0.0198	0.1451	0.0000	0.3391
12	0.6475	0.0932	0.0000	0.0000	0.8099
13	0.0588	0.0051	0.0000	0.0000	0.0938
14	0.5709	0.0775	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.2331	0.0381	0.0000	0.0000	0.1165
16	0.2379	0.0421	0.1210	0.0000	0.1250
17	0.0868	0.0102	0.0000	1.0000	0.0349
18	0.0271	0.0050	0.0038	0.0000	0.0067
19	0.0515	0.0095	0.0027	0.0000	0.0112

Tabla 6. Valores del FIB estandarizado de los TSS orientales, por épocas.

Subtipos	Anual	Invierno	Invierno-Verano	Verano	Verano-Invierno
1	0.1089	1.0000	0.0000	0.0048	1.0000
2	0.0233	0.0200	0.0000	0.0020	0.0653
3	0.0132	0.0024	0.2715	0.0027	0.0050
4	0.0154	0.0036	0.5851	0.0016	0.0225
5	0.0242	0.0053	1.0000	0.0025	0.0107
6	0.0713	0.0000	0.0000	0.0051	0.0263
7	0.0301	0.1029	0.0000	0.0025	0.0225
8	0.0854	0.0833	0.0000	0.0174	0.0158
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.0593	0.0060	0.0000	0.0000	0.0000
12	1.0000	0.1144	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0362	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.8503	0.1193	0.0000	0.0000	0.0997
15	0.0822	0.0076	0.0000	0.0000	0.0312
16	0.1013	0.0139	0.0000	0.0000	0.0421
17	0.0687	0.0069	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.0208	0.0024	0.2760	1.0000	0.0036
19	0.0347	0.0048	0.4133	0.0000	0.0072

Tabla 7. Resultados del análisis de correspondencia entre MortEx y las temperaturas extremas diarias del aire (2001-2020).

Pares de variables a comparar	Grados Libertad	Umbral (p <= 0.005)	Valor Chi-Cuadrado	Prob. (p)	Cumple
Mort-Tmax Cuba	16	34.267	386.281	0.0000	Si
Mort-Tmin Cuba	16	34.267	259.568	0.0000	Si
Mort-Tmax Occ	16	34.267	402.958	0.0000	Si
Mort-Tmin Occ	16	34.267	334.471	0.0000	Si
Mort-Tmax Ori	16	34.267	194.221	0.0000	Si
Mort-Tmin Ori	16	34.267	103.717	0.0000	Si

la relación entre todas las combinaciones posibles y fue posible pasar al uso del programa **TabCont** para determinar las frecuencias de todos los intervalos de interconexión entre las temperaturas extremas diarias del aire y la mortalidad en exceso.

La mayor mortalidad en exceso en todas las regiones y el país está asociada a los intervalos de clase extremos; aunque en la mitad oriental los niveles de ocurrencia de la mortalidad en exceso son menores para los umbrales inferiores a 12°C del valor medio de la temperatura mínima, ya que en esta parte del país las temperaturas nocturnas no alcanzan los mínimos notables que se reportan en el occidente y centro de Cuba.

Los valores del **FIB** estandarizado, que representa la magnitud del peligro de las variables del régimen térmico local, se calcularon para Cuba y sus dos mitades mediante el mismo proceso antes descrito para los procesos sinópticos, considerando un paso de 2°C para el intervalo de 12°C a 40°C en que se mueven las temperaturas máximas diarias y de 2°C a 30°C como rango de las mínimas.

También fue posible determinar las funciones matemáticas que permitan el cálculo operativo del **FIB** estandarizado de las temperaturas extremas diarias medias del aire de Cuba y sus mitades occidental y oriental.

Para Cuba, temperatura máxima media diaria del aire:

$$Y = 0.0027 * X^2 - 0.1164 * X + 1.3554 \quad (11)$$

$$(R^2 = 0.9916)$$

Para Cuba, temperatura mínima media diaria del aire:

$$Y = 0.003 * X^2 - 0.1219 * X + 1.232 \quad (12)$$

$$(R^2 = 1.0000)$$

Para la mitad occidental, temperatura máxima media diaria del aire:

$$Y = 0.0022 * X^2 - 0.0848 * X + 0.8959 \quad (13)$$

$$(R^2 = 0.9982)$$

Para la mitad occidental, temperatura mínima media diaria del aire:

$$Y = 0.0028 * X^2 - 0.1186 * X + 1.2258 \quad (14)$$

$$(R^2 = 1.0000)$$

Para la mitad oriental, temperatura máxima media diaria del aire:

$$Y = 0.0035 * X^2 - 0.1962 * X + 2.8069 \quad (15)$$

$$(R^2 = 0.9930)$$

Para la mitad oriental, temperatura mínima media diaria del aire:

$$Y = 0.0029 * X^2 - 0.1207 * X + 1.2298 \quad (16)$$

$$(R^2 = 1.0000)$$

Donde:

Y: el valor del **FIB** estandarizado, equivalente a la magnitud del peligro asociado a la temperatura máxima o mínima media diaria del aire, adimensional.

X: valor medio diario de la temperatura máxima o mínima media del aire para Cuba y las mitades occidental y oriental, expresado en grados Celsius.

El estimado del riesgo meteoro-tropical regional

Una vez determinadas las vulnerabilidades colectivas y los peligros regionales, fue posible pasar a la etapa de cálculo y evaluación del riesgo meteoro-tropical regional para toda Cuba y en sus mitades occidental y oriental.

La marcha diaria del riesgo meteoro-tropical en la mitad occidental de Cuba durante el período 2001-2019 se muestra en la Fig. 8. Se destaca un máximo notable con riesgo meteoro-tropical superior a 60 % el día 11 de enero de 2010, que inicia una sucesión de cinco días más con máximos superiores a 40 % entre el 12 y 17 de enero, todos asociados al caso extraordinario del frente frío ya mencionado.

En la última quincena de diciembre del mismo año 2010 ocurren nuevos eventos notables de riesgo meteoro-tropical extremo, con magnitudes entre 30 % y 40 %, todos vinculados a rupturas del Vórtice Polar Ártico, caracterizadas por invasiones de intensas masas de aire polar muy frío y seco. También en febrero y diciembre de 2015 se repiten casos extraordinario similares con génesis extratropical, pero en el verano del año 2017 se observan varios episodios de riesgo meteoro-tropical muy alto,

asociados a la presencia de sensaciones de calor muy intensas.

La marcha diaria del riesgo meteoro-tropical estimado para la mitad oriental del país muestra que las magnitudes del riesgo en este territorio son muy inferiores a las de la mitad occidental (Fig. 9).

Los máximos absolutos tienen lugar en enero y marzo del año 2018, con un solo máximo diario superior a 40 %, ocurrido el 8 de marzo de 2018, vinculado a la influencia del sector cálido de una baja extratropical, con vientos de región Sur.

Otros seis días se identifican en oriente con riesgo entre 20 % y 30 %, cinco de ellos en los meses de diciembre a marzo, con génesis extratropical: cuatro vinculados a la influencia de sistemas frontales y uno ocurre en un día con débil gradiente de presión. El sexto evento se destaca por ser el único con génesis tropical, ocurre el 22 de junio de 2019, asociado a la influencia cercana del anticiclón oceánico, con temperatura regional máxima media diaria de 34° C (muy alta para la época) y riesgo de 22.7 %.

Por último, en la Fig. 10 se integra el estimado del riesgo meteoro-tropical para todo el país. Resulta evidente que a partir del bienio 2009-2010, se manifiesta un aumento persistente de este indicador, con eventos frecuentes e intensos en el invierno 2014-2015, que alcanzan manifestaciones más relevantes en el bienio 2017-2018, con importantes y más frecuentes máximos diarios en ambas mitades.

Al analizar el comportamiento de los días con riesgo superior a 20 %, según la época del año, se encuentra un resultado muy interesante: en los meses del pleno verano, de junio a septiembre, solo dos días cumplen esta condición antes del año 2015, pero a partir de esa fecha su incidencia aumenta muy rápido, registrándose dos días en el 2015, uno el 29 de agosto de 2016, 34 días en el año 2017, uno el 23 de julio de 2018 y siete días en 2019. Estos son los antecedentes

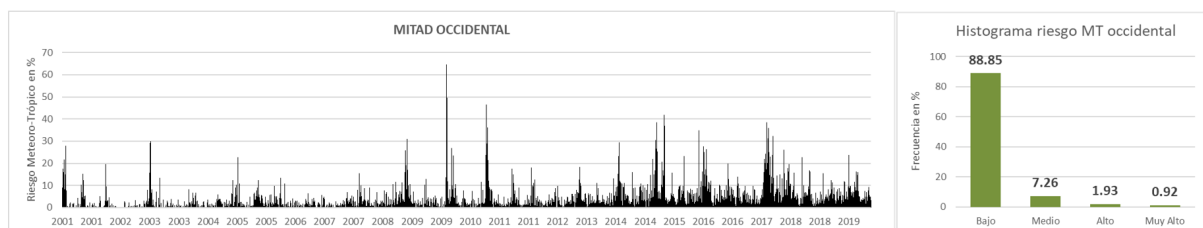


Figura 8. Estimado diario del riesgo meteoro-tropical en la mitad occidental de Cuba (2001-2019).

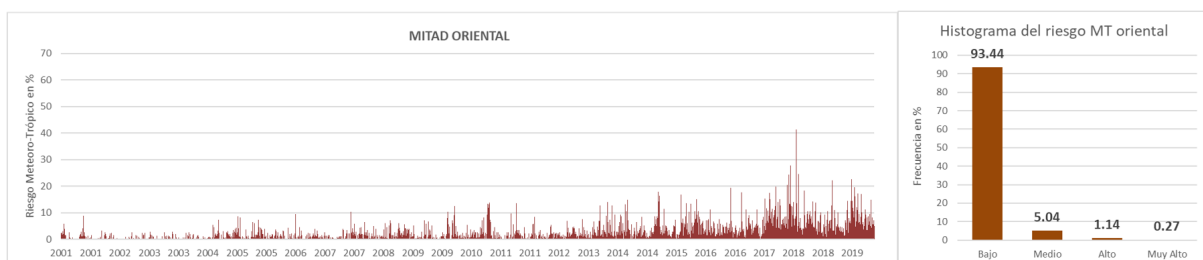


Figura 9. Estimado diario del riesgo meteoro-tropical en la mitad oriental de Cuba (2001-2019).

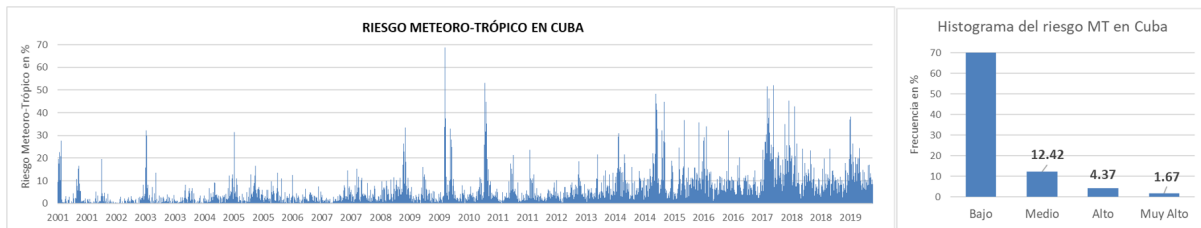


Figura 10. Estimado diario del riesgo meteorológico-tropical en Cuba (2001-2019).

de los eventos notables de calor intenso que han estado ocurriendo en todo el país desde el año 2020 y muy especialmente en el año 2023.

Por último, la buena calidad de las relaciones estadísticas encontradas entre la vulnerabilidad colectiva, los peligros regionales y el riesgo total, permitió obtener una relación 3D no lineal que permite estimar para Cuba el riesgo meteorológico-tropical regional (Fig. 11), conociendo la vulnerabilidad colectiva estimada con la mortalidad diaria en exceso, los peligros específicos asociados a los procesos sinópticos influyentes y a los promedios regionales de las temperaturas extremas diarias del aire.

Este resultado contribuye de manera decisiva al proceso de elaboración de los pronósticos biometeorológicos, pues facilitará su perfeccionamiento progresivo al incorporar nuevos algoritmos sustentados en criterios de decisión inteligentes, basados en inteligencia artificial.

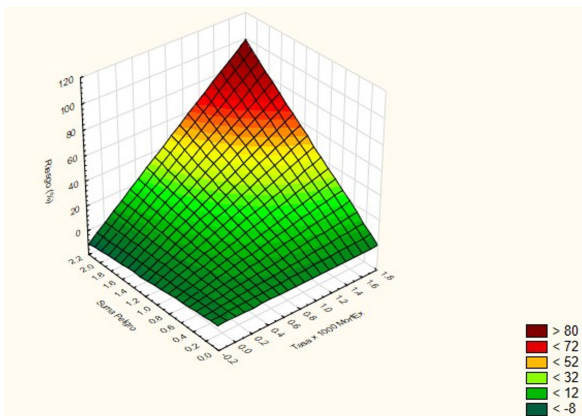


Figura 11. Relación 3D para estimar el riesgo meteorológico-tropical en Cuba.

DISCUSIÓN

La comparación de los resultados obtenidos en las mitades occidental y oriental de Cuba muestra importantes diferencias entre ambos territorios, más allá de lo que hasta ahora se daba por conocido. En el caso de la mortalidad diaria en exceso no existen referencias previas sobre su comportamiento en Cuba, por lo que se aporta un nuevo conocimiento de interés sanitario y biometeorológico.

Durante el verano la máxima mortalidad en exceso (MortEx) del occidente se relaciona con el subtipo 17,

pero en la mitad oriental es con el subtipo 18. En la etapa de transición del verano al invierno, la máxima mortalidad en exceso del occidente está asociada a la influencia cercana del anticiclón oceánico, las bajas extratropicales y los frentes fríos clásicos, mientras que en oriente solo aparece como muy peligroso el subtipo 1.

En el invierno se mantiene como muy peligrosa la presencia cercana y extemporánea del anticiclón oceánico para ambos territorios. Durante el tránsito invierno-verano la máxima mortalidad en exceso está asociada al subtipo 1 en la mitad occidental del país, pero en la mitad oriental pasa a los subtipos 5, 4, 19, 18 y 3 por ese orden, todos vinculados a la ocurrencia de condiciones de hipoxia por el debilitamiento de la influencia anticiclónica, tanto oceánica como continental, y el aumento de la temperatura del aire, características típicas de esta época del año. Nótese que en la mitad occidental el *FIB* del subtipo 11 alcanza el valor de 0.1451, indicando la importancia relativa de los “Sures de Cuarema” en la ocurrencia de mortalidad diaria en exceso.

La dinámica del ciclo tropical - extratropical - tropical que influye sobre el occidente y oriente de Cuba es compleja, pero constituye una regularidad biometeorológica. Su influencia produce efectos meteorológico-tropicales diferentes, a veces extremos y se caracteriza por elevados valores del *FIB*. Por ejemplo: al paso de los frentes fríos ocurren cambios de tiempo con alto contraste biometeorológico: de hipoxia a hiperoxia; le sigue el período con influencia del anticiclón continental en proceso de transformación, donde la hiperoxia alcanza su máximo; y al final, antes de que el centro continental se integre con el anticiclón oceánico, ocurre un nuevo cambio de tiempo inverso (de hiperoxia a hipoxia) también con elevado contraste biometeorológico.

A veces, de un ciclo al siguiente el tiempo que transcurre es corto y la secuencia de cambios contrastantes de hipoxia-hiperoxia-hipoxia produce impactos notables sobre la salud de las personas vulnerables. En otras ocasiones aumenta el tiempo entre un ciclo y el siguiente, dando paso temporalmente a la influencia de las altas presiones oceánicas. Es en tales circunstancias que se justifica el máximo valor del *FIB* estandarizado del TSS 1 durante el invierno y en la transición invierno-

verano. Además, en estas épocas se destaca la influencia de los subtipos 9 y 11 sobre la mortalidad diaria.

En el verano predomina el impacto biotrópico de los anticiclones migratorios con el máximo **FIB** estandarizado, aunque con valores bajos. Deben señalarse los casos de los subtipos 1 y 8, porque el primero caracteriza los cambios bruscos de la presión atmosférica asociados a la influencia cercana del anticiclón oceánico; y el segundo se relaciona con la presencia de vaguadas o cizalladuras no tropicales.

En el tránsito otoñal del verano al invierno se activan nuevamente los efectos meteoro-tropicos, destacándose los vinculados con los subtipos 1, 11 y 7, seguidos por el subtipo 6 que representa a los ciclones tropicales.

En resumen, la influencia de los procesos sinópticos sobre la salud de la población cubana cambia durante el año y ha estado cambiando a través de los últimos 20 años, a veces de forma abrupta, de manera que un mismo proceso sinóptico puede producir efectos meteoro-tropicos favorables en un momento y lugar dados, pero en otras épocas y lugares, el mismo proceso sinóptico puede ser desfavorable para la salud de la población local.

Por la otra parte, la relación de la mortalidad en exceso con las temperaturas extremas diarias del aire aporta también varios elementos de interés. En primer lugar, queda muy claro que es correcto hablar de la ocurrencia de olas de calor y frío en Cuba, con las mismas características de frecuencia, intensidad y duración que tienen en otros países y regiones geográficas, pero lógicamente, con umbrales de inicio y final que son propios de la capacidad de adaptación de la población cubana.

Precisamente por esa causa aparecen importantes diferencias en la relación entre la mortalidad en exceso y las temperaturas extremas diarias del aire entre las mitades occidental y oriental de Cuba. En la mitad occidental el riesgo meteoro-tropico extremo es casi el doble del que se registra en el oriente del país, pero la frecuencia de los episodios de mortalidad en exceso está aumentando en la mitad oriental, territorio donde se localiza el mayor riesgo de muertes en exceso con referencia al año 2001, cuando se comparan las tasas correspondientes de esos años.

Se produce entonces una diferencia territorial relevante en la génesis más probable de los efectos meteoro-tropicos asociados al frío o calor extremos. En las provincias occidentales la mayoría de los máximos diarios de la mortalidad en exceso sobrepasan los 30 fallecidos/día y suceden en los meses invernales; mientras que en las zonas de la mitad oriental (donde en los años recientes están ocurriendo con mayor frecuencia e intensidad los máximos de la temperatura del aire en Cuba) está aumentando la incidencia de los máximos diarios de la mortalidad en exceso, con intensidad

inferior a los 30 fallecidos/día, pero ocurren en secuencias de varios días sucesivos, por lo cual el acumulado de la mortalidad en exceso puede ser elevado. Por la complejidad del tema y sus implicaciones, estas posibles relaciones entre las variables analizadas, seguirá siendo estudiada para recopilar nuevas evidencias que permitan conocer las causas y características de estas preocupantes tendencias observadas, tanto en las variables sanitarias como en las climáticas.

CONCLUSIONES

La metodología para el estudio de los peligros, vulnerabilidades y riesgos (PVR), que se aplica por la Agencia de Medio Ambiente del CITMA en Cuba resulta pertinente para evaluar el riesgo meteoro-tropico regional, asociado a los procesos sinópticos que influyen sobre Cuba y al comportamiento local de las temperaturas extremas diarias del aire, los que actuando como efectos meteoro-tropicos predisponentes, contribuyen a la ocurrencia de meteoropatías masivas y diversas, incluyendo el aumento de la mortalidad diaria en exceso.

La mortalidad diaria en exceso resulta un indicador sanitario muy adecuado para definir y evaluar la vulnerabilidad colectiva de la población cubana ante la influencia de los procesos sinópticos regionales y los elementos meteorológicos locales, actuando como indicadores de peligro en las tres escalas espacio-temporales que se consideran en la ciencia meteorológica.

Se logra el diseño y desarrollo original de un procedimiento para evaluar el riesgo meteoro-tropico regional, que se agrega al procedimiento para estimar el riesgo meteoro-tropico personalizado y constituyen el fundamento para identificar, prevenir y mitigar adecuadamente los impactos crecientes y diferenciados de los efectos meteoro-tropicos extremos sobre la salud de la población cubana.

REFERENCIAS

- Alisov, B.P. y Poltarau, B.V. (1974): Climatología [en ruso]. Ed. Universidad Estatal de Moscú; 299 p.
- AMA - Agencia de Medio Ambiente (2017). Propuesta de guía metodológica para realizar los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo en Cuba para desastres en la población humana: Epidemias. Grupo de Evaluación de Riesgos, AMA-CITMA, La Habana; 28 p.
- Araujo, R. (2015). Vulnerabilidad y riesgo en salud: ¿dos conceptos concomitantes? *Rev. Novedades de Población*, CEDEM, 210: 89-96. ISSN 1817-408.
- Brooks, N. (2003). A Conceptual Framework for Vulnerability, Risk and Adaptation, En: <http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp38.pdf>.

- Chevez, D., Alfaro, K., Salas, F., Robledo, A., Lubker, E. y Vellanero, M.A. (2020). Factores de riesgo cardiovascular. *Rev. Ciencia y Salud: integrando conocimientos*, febrero-marzo, 4(1): 6-9.
- CDN - Consejo de Defensa Nacional (2022). Directiva 1/2022 Para la gestión de la reducción del riesgo de desastre en la República de Cuba. *Gaceta Oficial 130*, Ordinaria del 20 de diciembre de 2022; 42 p.
- Colectivo de Autores (2022). La mortalidad diaria en Cuba. En: *El cambio climático y la salud en Cuba*, Cap. 3.5, Borroto, S.M., Suárez, S. y Del Puerto, A. Eds. Ed. Ciencias Médicas, La Habana: 97-103.
- De la Noval, R., Armas, N.B., De la Noval, I., Fernández, Y., Pupo, H., Dueñas, A. y Nordet, P. (2011). Estimación del Riesgo Cardiovascular Global en una población del Área de Salud Mártires del Corynthia, La Habana, Cuba. *Rev. Cub. Cardiología y Cirugía Cardiovascular*, 17(1): 62-68. ISSN 1561-2937.
- Dzardzeevskii, B.L. (1968). Los mecanismos de la circulación de la atmósfera en el hemisferio norte en el siglo XX [en ruso]. En: *Resultados de Investigaciones durante el Año Geofísico Internacional. Circulación Atmosférica*. Ed. Inst. Geog. AC de la URSS, Moscú, 85 p.
- Ebi, K.L., Vanos, J., Baldwin, J.W., Bell, J.E., Hondula, D.M., Errett, N.A., Hayes, K., Reid, C.E., Saha, S., Spector, J. y Berry, P. (2021). Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. *Annual Rev. of Public Health*, 42: 26.1-26.23.
- Jalalzadeh, F.B., Mahmood, R., Hayes, M., Rowe, C., Abadi, A.M., Shulski, M., Medcalf, S., Lookadoo, R. y Bell, J.E. (2021). Mapping Heat Vulnerability Index Based on Different Urbanization Levels in Nebraska, USA. *GeoHealth*, 5.
- Kononova, N. K. (2016). Fluctuations of the Global Atmospheric Circulation in the XX-XXI Centuries. *Jour. Earth Sci. and Climatic Change*. doi: <http://org.doi/10.4172/2157-7617.1000350>.
- Lapinel, B. (1988). La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba. Tesis de doctorado. Inst. Meteorología, La Habana; 147 pp.
- Last, J.M. Ed. (2001). A dictionary of Epidemiology. Oxford Univ. Press, Nueva York.
- Lecha, L., Monteagudo, L., Cruz, C. y García, D. (2016). Pronósticos biometeorológicos mediante teléfonos celulares para la prevención y tratamiento de las crisis hipertensivas. Informe de Resultado. CESAM Villa Clara y Cardiocentro Ernesto "Che" Guevara, Santa Clara; 13 p.
- Lecha, L. (2019). Pronósticos Biometeorológicos [eBook]. Ed. Citmatel, La Habana; 240 p. ISBN 978-959-237-752-3.
- Lecha, L., Monteagudo, L., Soler, E., Sánchez, L. y Sauchay, L. (2022). Estimación del peligro asociado a los procesos de la circulación atmosférica. Informe de Resultado. Proyecto Evaluación del riesgo meteoro-tropical extremo asociado a los procesos de la circulación atmosférica que influyen sobre Cuba [inédito]. Instituto de Meteorología, La Habana; 57 p.
- Lecha, L., Sánchez, L., Verdecia, Y., Soler, E. y Sánchez, A. (2023). Variabilidad de los tipos de situaciones sinópticas influyentes sobre el occidente de Cuba. *Rev. Cub. Met.*, 26(2), abril-junio: 1-18. ISSN: 2664-0880.
- Lecha, L., Monteagudo, L. y Sauchay, L. (2024). Evaluación del riesgo meteoro-tropical en una muestra de adultos cubanos hipertensos de ambos sexos. *Rev. Cub. Met.*, [en prensa]. ISSN: 2664-0880.
- Montero, J.C., Mirón, I.J., Criado-Álvarez, J.J., Linares, C., Díaz, J. (2012). Relationship between mortality and heat waves in Castile-La Mancha (1975-2003): influence of local factors. *Science Total Environment*, 414: 73-80.
- Ordaz M. (1996). Algunos conceptos del análisis de riesgos. *Rev. Prevención*, 14, CENAPRED.
- Panagiotis, T.N. y Matzarakis, A. (2021). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Rev. Theoretical Applied Climatology*. DOI <http://doi.org/10.1007/s00704-011-0555-0>.
- Peña, A. (2019). Vulnerabilidad, lluvias y desastres en Perú. Boletín de la PUCP, Lima, Perú.
- Planos, E. y Gutiérrez, T. (2020). Tercera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de las NN.UU. sobre el cambio climático. CITMA, La Habana; 403 p. ISBN: 978-959-300-170-0.
- Soler, E., Sánchez, L.M., Lecha, L. y Verdecia, Y. (2020a). Los mecanismos elementales de circulación en América del Norte y su relación con las situaciones sinópticas que influyen sobre la mitad occidental de Cuba. *Rev. Cub. Met.*, 26:1-18. ISSN: 2664-0880.
- Soler, E., Lecha, L., Sánchez, L. M. y Verdecia Y. (2020b). Catálogo de los tipos de situaciones sinópticas que influyeron sobre Cuba 1970-2019. Resultado de Investigación, INSMET, Cuba, 60 pp. (inédito).
- Soler, E. y Lecha, L. (2023). Los mecanismos elementales de la circulación atmosférica. Resumen de su evolución durante el período 1899-2019. Informe de Resultado. Proyecto Variaciones y Cambios en el Clima Cubano, INSMET, La Habana; 34 p.
- Villa, M. (2001). Vulnerabilidad social: notas preliminares. En: *Seminario Internacional: Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. Citado por Araujo (2015).

Luis B. Lecha Estela. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: +53 55008683.
Edgardo Soler Torres. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: 53 53553172;
E-mail: edgardosoler2@gmail.com.
Luis Sánchez Suárez. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: +53 52165851;
E-mail: luis.sanchez0868111@gmail.com
Surisley Torres Gutiérrez. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET. Teléfono: +53 53285456;
E-mail: surisleyalice2@gmail.com
Luis O. Pichardo Moya. Delegación Provincial del CITMA en Villa Clara. Teléfono: +53 59961224;
E-mail: pichardo@dcitma.vcl.cu
Enardo Pena Alonso. Agencia GeoMix, Empresa GEOCUBA Investigación y Consultoría, Villa Clara. Teléfono:
+53 56490275; Email: enardopena@gmail.com