

Los extremos del régimen térmico y la mortalidad en exceso en Cuba

The extremes of thermal regime and excess mortality in Cuba



<https://cu-id.com/2377/v30n2e01>

 Luis B. Lecha Estela^{1*},  Luis O. Pichardo Moya²,  Enardo Pena Alonso³,  Andrés Guevara Rincón¹

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

²Delegación Provincial del CITMA en Villa Clara, Cuba.

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

RESUMEN: Es un hecho que el clima de Cuba ya experimenta algunos impactos específicos del cambio climático global. Entre ellos, la ocurrencia de comportamientos extremos del régimen térmico del aire, incluyendo episodios de calor o frío intensos. Estos actúan de manera diferenciada en verano e invierno y pueden ser factores predisponentes de diversas meteoropatías, incluyendo la muerte. Para profundizar en el estudio de la relación entre el régimen térmico extremo y su posible influencia en el aumento de la mortalidad diaria, se seleccionó una muestra nacional de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire de 68 estaciones meteorológicas, para comparar su comportamiento con la mortalidad diaria en exceso en todo el país durante el período 2001-2020. Se demuestra que existe una relación bien definida entre los extremos diurnos y nocturnos de la temperatura del aire con los aumentos de la mortalidad en exceso, encontrando diferencias estacionales en la génesis y duración de los máximos de mortalidad, según sea la influencia de las sensaciones extremas de frío o calor. Se identifican los umbrales de inicio de las posibles crisis de salud asociadas a los extremos del régimen térmico y se hace una estimación preliminar del comportamiento prospectivo de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales de Cuba, así como de la mortalidad en exceso nacional que se puede alcanzar en el año 2030.

Palabras clave: impactos del cambio climático, temperaturas extremas del aire, mortalidad en exceso, efectos meteorotrópicos, olas de calor y frío.

ABSTRACT: It is a fact that Cuba's climate is already experiencing some specific impacts of global climate change. Among them, the occurrence of extreme behaviors of the thermal regime of the air, including episodes of intense heat or cold. These act differently in summer and winter and can be predisposing factors for various meteor-pathologies, including death. To further study the relationship between the extreme thermal regime and its possible influence on the increase in daily mortality, a national sample of daily maximum and minimum air temperatures from 68 meteorological stations was selected to compare their behavior with daily mortality in excess throughout the country during the period 2001-2020. It is demonstrated that there is a well-defined relationship between the daytime and nighttime extremes of air temperature with increases in daily excess mortality, finding seasonal differences in the genesis and duration of mortality maximums, depending on the influence of extreme sensations. of cold or heat. The starting thresholds of possible health crisis associated with the extremes of the thermal regime are identified and a preliminary estimate of the prospective behavior of the average annual maximum and minimum temperatures of Cuba is made, as well as the national excess mortality that can be reached in the year 2030.

Key Word: impacts of climate change, extreme air temperatures, excess mortality, meteor-tropic effects, heat and cold waves.

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

Recibido: 12/01/2024

Aceptado: 23/04/2024

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 la preparación, el diseño del método de la investigación, la integración de resultados previos y la redacción del artículo. También realizó el proceso estadístico de los datos experimentales. Luis O. Pichardo Moya y Enardo Pena Alonso: tuvieron a su cargo el proceso y elaboración de las salidas cartográficas de la investigación y Andrés Guevara Rincón: diseño y programó la base de datos, incluyendo los filtros para la selección de datos, su manejo y operación.

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

Desde finales del siglo XX se encuentran investigaciones que muestran el vínculo existente entre la variabilidad del estado del tiempo y la ocurrencia diaria de varias meteoropatías (Lecha y Chugaev, 1989; Lecha, 1992; Toledo 1992). Dichos estudios permitieron crear los fundamentos de los primeros sistemas de alerta temprana para la salud (Lecha, 1993; Lecha y Delgado, 1996); pero aún persisten las dificultades relativas a la calidad de las fuentes de datos sanitarios, lo cual afecta la validación de los pronósticos basados en la incidencia diaria o morbilidad de las meteoropatías, especialmente cuando se trata de enfermedades crónicas no transmisibles.

Ya desde los años iniciales del siglo XXI, el reconocimiento gradual de los impactos del cambio climático sobre la población cubana, fue dando mayor prioridad al estudio de los vínculos entre el clima, el tiempo y la salud humana, los cuales identificaron nuevos escenarios muy preocupantes (Ramírez *et al*, 2008; Ortiz *et al*, 2009).

Progresivamente, se obtienen nuevos resultados que avalan y ratifican la importante influencia que tienen el clima y el estado del tiempo sobre la salud de la población cubana (De la Vega *et al*, 2010; De la Vega *et al*, 2011; Fernández-Arróyabe y Lecha, 2011; De la Vega y Lecha, 2011; Arrastía y Limia, 2011). Así, la Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), incorpora un capítulo completo dedicado al análisis de los efectos del cambio climático sobre la salud de la población cubana (Planos, Vega y Guevara Ed., 2013).

Ya en la Tercera Comunicación Nacional de Cuba a la CMNUCC, se expresa:

“Para esta Tercera Comunicación Nacional, se actualizaron los hallazgos obtenidos en los informes antes mencionados, y se tuvieron en cuenta los resultados alcanzados en varios proyectos de investigación desarrollados recientemente. Todo ello permite mantener la hipótesis de que el clima en Cuba está transitando hacia un estado con características similares a un sistema climático con un efecto invernadero intensificado en la atmósfera terrestre. En particular, se señala el incremento de la temperatura superficial del aire, la reducción del rango diario de la temperatura, así como cambios en los episodios extremos desde 1980, con un incremento estadísticamente significativo de los extremos cálidos y una disminución en los extremos fríos” (Planos y Gutiérrez Ed., 2020).

Hoy se reconoce que los fenómenos hidrometeorológicos peligrosos son capaces de

provocar grandes impactos sanitarios, y en Cuba se tienen importantes ejemplos al respecto, asociados a desastres provocados por huracanes intensos, como fueron los casos del huracán de Santa Cruz del Sur en noviembre de 1932 y el huracán Flora en octubre de 1963, los cuales provocaron miles de muertes en las regiones afectadas.

También se conoce el impacto de los rayos, las tormentas locales severas y tornados sobre la mortalidad (Alfonso, 1994; García y Mengana, 2011), pero no existe igual percepción del riesgo, asociado a otros procesos meteorológicos, relativamente nuevos para Cuba y toda la región del Caribe, como son los efectos meteoro-tropicales vinculados a los eventos extremos del régimen térmico.

Uno de los primeros trabajos sobre la ocurrencia de olas de calor en Cuba y sus efectos en la salud humana se debe a la tesis de un estudiante de meteorología (Estrada, 2011); pero trabajos anteriores de Lecha *et al*, (1991a y 1991b), trataron el impacto de los golpes de calor sobre la mortalidad aviar en los diferentes sistemas de producción avícola del país, incluyendo el diseño de un sistema de alerta temprana y un plan de acción nacional para la prevención y mitigación de los efectos del calor y el frío intensos en la avicultura cubana (Lecha y Linares, 1992).

En el año 2015, la revista *Medic Review* publica una entrevista a dos especialistas nacionales, en la cual se reconoce la posible relación entre la mortalidad y el cambio climático en Cuba (Conner, 2015). En la misma publicación, otro artículo propone una relación entre la variabilidad del clima cubano y la mortalidad por infartos agudos de miocardio (Rivero *et al*, 2015). Por último, también en el 2015, otro artículo sobre este tema plantea la posibilidad de que estén ocurriendo olas de calor en Cuba desde el año 2009, según los resultados de un estudio realizado en la provincia de Villa Clara (Lecha *et al*, 2015).

En años más recientes, nuevas evidencias científicas corroboran que existen relaciones bien definidas entre la ocurrencia de las sensaciones de calor intenso y la ocurrencia de meteoropatías, incluyendo la muerte, por ejemplo, asociadas a las enfermedades cerebrovasculares (Sauchay *et al*, 2017; Rodríguez *et al*, 2022; Sauchay, 2023), así como a las influencias del frío intenso (Velázquez, 2019).

Resultados recientes de Barcia *et al*, (2020) aportaron evidencias sobre la ocurrencia de efectos meteoro-tropicales peligrosos asociados a sensaciones térmicas extremas de frío y calor, ratificando que ya ocurren en el país procesos específicos del estado del tiempo que pueden clasificarse como olas de calor y frío (Barcia *et al*, 2021), lo que justifica dos máximos estacionales de las meteoropatías cuya génesis se vincula a condiciones meteorológicas muy diferentes (Lecha *et al*, 2022).

Sin embargo, en este proyecto la valoración de los efectos meteoro-tropicales extremos capaces de

afectar la mortalidad diaria se realizó con los datos de la mortalidad general, siendo esta una variable epidemiológica que refleja el impacto de múltiples factores externos sobre la mortalidad, lo cual afecta la representatividad de los resultados obtenidos.

Las interacciones entre el clima, el tiempo y la mortalidad son diferentes, porque actúan en espacios y momentos muy distintos, por ejemplo: las interacciones clima vs mortalidad deben expresarse en las escalas de tiempo cronológico multianual o estacional, mientras que las interacciones del estado del tiempo vs la mortalidad se establecen en el corto plazo de la marcha diaria o durante unos pocos días.

En realidad, todo parte de conocer el comportamiento histórico de la mortalidad en el lugar de estudio. En este sentido, Valido (1993) expresa lo siguiente:

“A partir de 1910 se inicia una declinación de la mortalidad en Cuba y según su comportamiento anual es posible diferenciar tres períodos principales: un descenso gradual entre 1910 y 1943, una disminución más rápida entre 1944 y 1962 y una disminución lenta desde 1963 a 1990, con tasas al final de este período entre 7.5 y 6 fallecidos por cada 1,000 habitantes”.

Los datos demográficos indican que a partir de 1985 la mortalidad general en Cuba inicia una tendencia al aumento, que es la característica dominante hasta el presente. Desde hace algunos años Cuba presenta una estructura demográfica invertida: en el año 2022 la población con 60 años y más era de 2 millones 478,087 habitantes (22.3 % del total) y en algunas provincias como la Habana y Villa Clara esta proporción es mayor, siendo las provincias más envejecidas del país.

Sin embargo, si existe un vínculo entre los eventos extremos del régimen térmico y la mortalidad en Cuba, resulta imprescindible considerar las características y causas de la *mortalidad en exceso*, que es el indicador por excelencia utilizado en la evaluación de los aumentos diarios de la mortalidad, asociados a situaciones extraordinarias, dentro de las cuales se incluyen los efectos del estado del tiempo.

La mortalidad en exceso, como indicador epidemiológico, ha ganado espacio como forma de expresar objetivamente el impacto de los desastres, los accidentes catastróficos, las guerras, epidemias y otras situaciones anómalas que afectan de manera abrupta o extraordinaria la salud humana. En general, los excesos de mortalidad se han calculado como diferencias entre la mortalidad observada y la esperada para una población, región y momento dados, por lo cual se requiere de referencias apropiadas, basadas en las principales estadísticas de la mortalidad y con el máximo grado de detalle posible.

Según Checchi y Roberts (2005):

“El cálculo de la mortalidad en exceso requiere de una línea base representativa de la tasa de mortalidad en condiciones no alteradas. La diferencia entre la línea base y la tasa de mortalidad obtenida bajo condiciones extraordinarias se multiplica por el tamaño de la población para obtener el total de muertes en exceso”.

Entonces, la mortalidad en exceso es aquella que tiene lugar por encima de lo habitual, en un lugar y momento dados. La línea base se requiere para calcular las diferencias obtenidas al comparar la norma de referencia con los valores reales de cada día, semana, mes o cualquier otro intervalo de tiempo cronológico escogido. Por tanto, es usual que su valor se considere equivalente a la cantidad de fallecidos que ocurre por encima del promedio más la desviación estándar de una serie de mortalidad establecida como referencia para un intervalo de tiempo y lugar dados.

Un ejemplo de la utilidad de este indicador lo refieren Vestergaard *et al.* (2020), basados en los resultados de la red europea de monitoreo de la mortalidad en exceso para acciones de salud pública (Euro MOMO), que ha venido evaluando cada semana y desde el año 2009 las causas de mortalidad en exceso en un amplio número de países de dicha región, utilizando un algoritmo estadístico que compara los datos de mortalidad reales con los valores de referencia que debían ocurrir en cada país y época del año (Nielsen *et al.* 2013).

Este soporte tecnológico y la información obtenida del monitoreo permitió hacer una evaluación rápida del impacto de la Covid-19 en Europa en fase tan temprana de la epidemia como el bimestre marzo-abril de 2020. Una experiencia similar se produjo en la provincia de Villa Clara, Cuba, relacionada con el uso de los servicios de pronósticos biometeorológicos durante el enfrentamiento a esta Pandemia (Lecha, 2020).

Entonces, cuando se trata de demostrar que la variabilidad del clima o del estado del tiempo pueden ser un factor externo predisponente para el aumento de la mortalidad diaria, no se debe usar la mortalidad general diaria como indicador sanitario, porque este parámetro depende de múltiples factores y no refleja correctamente el sentido de inmediatez o hecho extraordinario que se asocia al impacto brusco y temporal de los efectos meteoro-trópicos extremos.

Además, si se utiliza la mortalidad diaria en exceso como indicador de referencia, hay que tener en cuenta varias causas no meteoro-trópicas que influyen sobre ella; por ejemplo: los accidentes y las epidemias, las cuales deben ser excluidas de la muestra a analizar.

Otra ventaja de la mortalidad en exceso como indicador epidemiológico, radica en que obvia

los efectos de los determinantes socioeconómicos sobre la mortalidad, porque se refiere a aumentos extraordinarios, abruptos y masivos de la mortalidad que ocurren en intervalos de tiempo muy cortos, desde horas a varios días consecutivos, durante los cuales los determinantes socioeconómicos no cambian y resulta evidente que la causa de la mortalidad en exceso está asociada a la influencia de factores externos (no habituales) sobre una población dada.

Por otra parte, la información meteorológica para un estudio de este tipo puede ser obtenida de varias fuentes. Ya se han mencionado investigaciones precedentes que utilizan los datos diarios de las temperaturas extremas del aire, índices complejos como la temperatura efectiva (TE), la temperatura efectiva-equivalente (TEE), las sensaciones de calor sofocante o de frío intenso, entre otros; pero la relación clima-tiempo-salud humana no es igual en todas las regiones geográficas y poblaciones del planeta.

Una temperatura del aire de 32°C tiene un efecto biotrópico diferente en un habitante de Noruega con relación a los habitantes de la zona tropical. De forma análoga, una temperatura de 5°C para un noruego significa una sensación térmica diferente a la que sienten los cubanos. Si además de la temperatura del aire, se introduce la acción simultánea de otros elementos meteorológicos como la humedad (TE) y el viento (TEE), la representatividad del resultado mejora porque se acerca al comportamiento de los aspectos funcionales de la fisiología humana, pero en los trópicos esto resulta aún insuficiente, porque en las condiciones de Cuba es imprescindible tener en cuenta la influencia de la radiación solar incidente, sin la cual no se obtiene una representación o modelo adecuado del comportamiento del balance de calor del cuerpo humano.

En la escala de impacto o local, es importante tener en cuenta la vulnerabilidad individual de las personas expuestas a la variabilidad del régimen térmico. La mortalidad en exceso, como indicador sanitario, excluye la influencia de los factores externos socioeconómicos, culturales, étnicos y otros que intervienen en la mortalidad, pero si considera los factores de riesgo individuales como elementos de vulnerabilidad.

En el caso de Cuba, su población está muy bien adaptada al clima muy cálido y húmedo, lo cual la hace menos vulnerable al calor intenso y más vulnerable al frío intenso, pero hay que establecer los umbrales a partir de los cuales empiezan los efectos meteorotrópicos asociados al comportamiento extremo del régimen térmico local. Entonces, encontrar definiciones generales sobre estos temas no es fácil, incluso no resulta aconsejable; y es preferible trabajar con muestras específicas de regiones o poblaciones versus indicadores sanitarios apropiados.

Por tanto, los objetivos de la investigación fueron los siguientes:

- a. Obtener la línea base del comportamiento de la mortalidad general diaria en Cuba, por provincias, municipios y épocas del año.
- b. Establecer los fundamentos estadísticos y metodológicos para determinar las características espacio-temporales de la mortalidad diaria en exceso que ocurre en los municipios, provincias, regiones y en todo el país.
- c. Demostrar que existe una relación específica entre los máximos diarios más notables de la mortalidad en exceso ocurridos en Cuba, durante el período 2001-2020, y la incidencia de eventos extremos del régimen térmico del aire, actuando como factores externos predisponentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Creación de la base de datos

La base de datos diaria de la mortalidad general en Cuba para el período 2001-2020 se solicitó formalmente a la Dirección Nacional de Estadísticas del Ministerio de Salud Pública (MINSAP) de Cuba, que es la entidad nacional encargada de procesar y ofrecer la información sobre la mortalidad en el país. Dicha base de datos contiene numerosas variables de interés sanitario y epidemiológico, de las cuales se trabajó con la fecha de la defunción, el año de nacimiento, la edad, sexo, color de la piel, estado civil, ocupación, el sitio y el municipio donde ocurrió la defunción, así como la primera causa de muerte referida, según los clasificadores de enfermedades establecidos: el CIE-9 hasta 2010 y el CIE-10 del 2011 al 2020. También se consultaron datos específicos de los Anuarios de Salud de Cuba de los años 2010, 2017 y 2022.

Todo este volumen de información se integró a una base de datos propia, elaborada por [Guevara et al. \(2021\)](#), como parte de las actividades del proyecto P211LH004-016 del Programa Sectorial “Meteorología y Desarrollo Sostenible del País”, ejecutado en el Centro Meteorológico del Instituto de Meteorología en la Isla de la Juventud durante los años 2020-2022.

Mediante un conjunto de algoritmos, filtros y programas propios, la base de datos general del proyecto fue sometida a un proceso de control de calidad, para detectar posibles faltas de información, errores en el clasificador de enfermedades, alteraciones en las fechas de ocurrencia de las defunciones o confusiones con la edad, especialmente en el caso de los ancianos que murieron a principios del siglo XXI y tenían más de 100 años de edad.

Utilizando filtros adecuados, se calcularon los fallecidos por día en cada municipio y provincia del país, así como se programaron herramientas para seleccionar procesos específicos por intervalos de fechas, en municipios o provincias deseadas y las causas de muerte. Una vez obtenida la selección de datos deseada, la misma se puede consultar visualmente, guardar en ficheros “.txt” o se exporta a ficheros Excel en formato “.xls”.

La opción “causas” del menú principal resulta muy útil porque permite realizar todo un conjunto de análisis y procesos estadísticos para una enfermedad específica, a partir de seleccionar la causa de muerte entre 10 posibles, todas de alta incidencia en Cuba y cuyas crisis pueden tener un origen meteoro-trópico (Fig. 1).

Una vez que los valores diarios de la mortalidad general por municipios y provincias fueron exportados a tablas en Excel, se realizó el procesamiento estadístico de la información, obteniendo los parámetros siguientes:

- Las sumas, promedios, desviación estándar, máximos y mínimos de la mortalidad general y por causas para los diferentes meses del año (marcha anual) y los 20 años de la muestra (marcha multianual), por municipios, provincias, las mitades occidental y oriental de Cuba, así como de todo el país.
- La estructura de los percentiles a intervalos de 10%, evaluando el punto de coincidencia con los valores correspondientes al umbral dado por la media más la desviación estándar de cada serie.
- Las tasas brutas de mortalidad por *N* cantidad de habitantes, calculadas a partir de las poblaciones de los municipios y provincias de Cuba, estimadas hasta junio del año 2010, por ser el año medio de la serie temporal utilizada.

El cálculo de la mortalidad en exceso (MortEx)

Para el cálculo de la mortalidad en exceso en todas las series temporales estudiadas, se consideró apropiado utilizar el 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 muy apropiado para calcular este indicador, porque permite identificar las desviaciones de la mortalidad diaria observada en las distintas provincias y municipios del país, con respecto a la esperada según las series históricas de referencia.

El proceso principal de este método radica en elaborar la línea base de referencia de la mortalidad, que en este caso comprende el período 2001-2020 (7305 días), contra la cual se compara el comportamiento diario real de dicho indicador, utilizando para ello el índice Z-Score y calculando la diferencia 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:

$$Z - Score = (Xi - Xmed) / DE \quad (1)$$

$$MortEx = Xi(> 1) - (Xmed + DE) \quad (2)$$

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.

Los principales estadígrafos de la mortalidad en exceso se calcularon para la muestra completa de

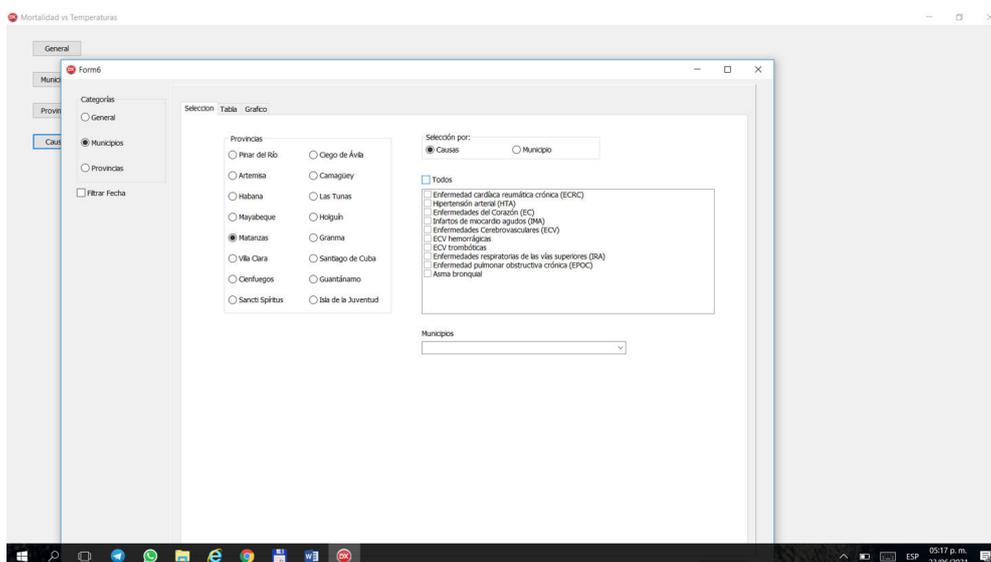


Figura 1. Pantalla correspondiente a la opción “causas” del menú principal.

20 años, por años individuales, por meses y por épocas del año, considerando el cuatrimestre diciembre-marzo como invierno, el bimestre abril-mayo como de transición invierno-verano, el cuatrimestre junio-septiembre como verano y el bimestre octubre-noviembre como el del tránsito verano-invierno.

Se trabajó con los valores absolutos de la mortalidad general y en exceso, así como con sus tasas brutas, según los requisitos del proceso o análisis a realizar. Las tasas brutas se calcularon por la expresión:

$$Tasas = Mort/Pob \quad (3)$$

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.

10^n : valor de ajuste de la población de referencia. En este caso 1,000 habitantes (10^3) para la mortalidad general y 100,000 habitantes (10^5) para la mortalidad en exceso.

Evaluación de los componentes del régimen térmico

Como contraparte a la información sanitaria, se consideraron los valores de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire de 68 estaciones meteorológicas distribuidas por todo el territorio nacional, con datos del período 2001-2020.

Las series temporales de las temperaturas extremas diarias del aire se agruparon en las mitades occidental y oriental del país, obteniendo en cada caso sus principales estadígrafos regionales (media, desviación estándar, máximos y mínimos) y la estructura de todos los deciles. Además, para el análisis de correspondencia de estos valores con los datos de mortalidad, se realizó la categorización

de las temperaturas máximas y mínimas, utilizando intervalos de 3°C para cada variable: desde 21°C a 36°C para las máximas y desde 12°C a 27°C para las mínimas, quedando ambas series con seis intervalos cada una.

Las características climáticas del régimen térmico del aire se evalúan a partir de los resultados disponibles en estudios precedentes (Lecha y Florido, 1989; Lecha, 1992 y Lecha *et al*, 1994), actualizados sistemáticamente durante la elaboración de varios servicios e investigaciones posteriores, que han facilitado la descripción detallada de las características espacio-temporales del régimen térmico cubano (Lecha, 1998; Martín y Lecha, 2012; Lecha, 2019).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La cartografía básica del régimen térmico cubano

Los resultados cartográficos del régimen térmico cubano han venido mostrando cambios sustantivos durante los últimos 40 años, a partir de los resultados iniciales publicados en el Atlas de Cuba XX Aniversario (ICGC, 1978), en el tomo 1 del Atlas Climático de Cuba (INSMET, 1987) y los del Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1987), que cierra esta primera etapa de resultados cartográficos.

En el año 2012 se elabora un nuevo Atlas Climático (inédito) en función de los intereses de la economía nacional y la defensa del país, del cual resulta procedente analizar la distribución espacio-temporal del régimen térmico que propone esta obra (Fig. 2), basada en el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire, cuya cartografía fue automatizada, a partir de un programa propio elaborado por Estrada y Moya (2011).

Las temperaturas máximas diurnas muestran varias zonas de máximos valores en las llanuras interiores de la región central, en zonas adyacentes a las costas

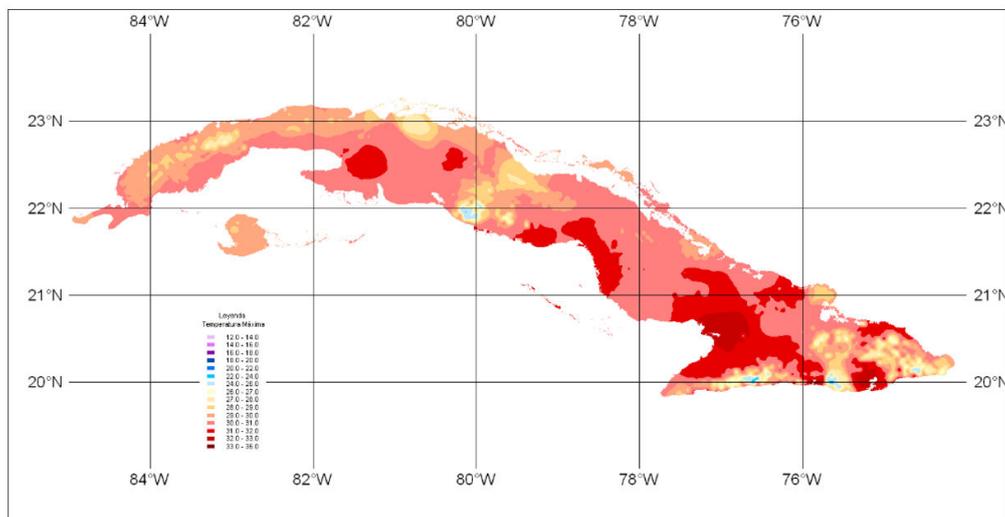


Figura 2-A. Temperatura máxima media anual (1979-2008).

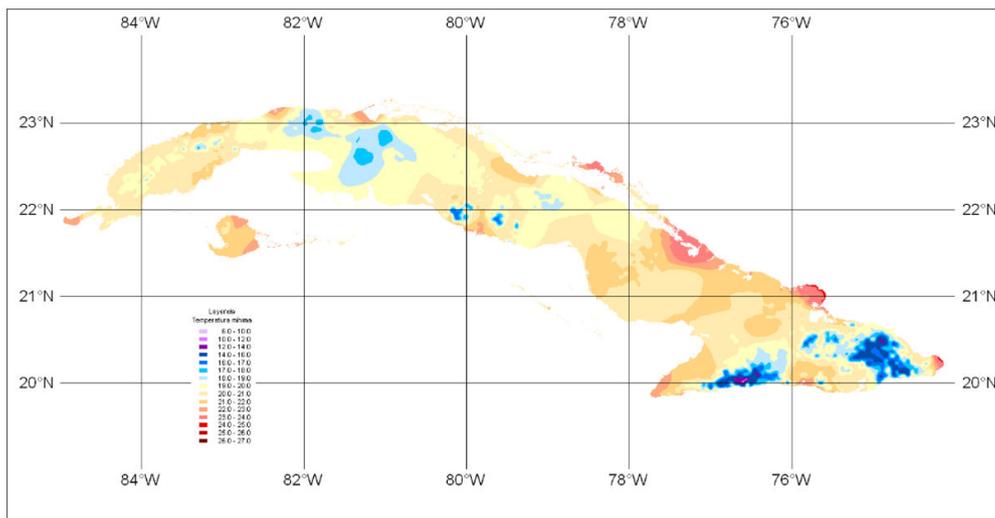


Figura 2-B. Temperatura mínima media anual (1979-2008).

meridionales de las provincias de Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, hasta llegar a sus valores más elevados en la cuenca del río Cauto, provincia Granma. Los mínimos valores se ubican en las zonas montañosas del país.

Por su parte, las temperaturas mínimas nocturnas tienen sus valores inferiores en el interior de las provincias de Mayabeque y Matanzas y también en las zonas montañosas, mientras que los máximos están bien localizados en los cayos del archipiélago, algunos territorios de la costa norte, incluyendo a la Habana y Varadero, así como en la Isla de la Juventud.

La novedad de esta representación cartográfica estuvo en la calidad y el nivel de detalle de sus salidas, lo cual permitió apreciar por primera vez la rica diversidad del comportamiento diurno y nocturno de la temperatura del aire en el país, reflejando con fidelidad el vínculo del régimen térmico con los componentes diversos del medio físico-geográfico.

Desde el año 2008 hasta la fecha se han comenzado a manifestar los efectos de la variabilidad del clima global sobre el régimen térmico cubano. Ya se reconoce que: “aumenta en 1.0 °C la temperatura media anual y en 2.0 °C la temperatura mínima media anual en el periodo 1951-2017. Cada una de las tres últimas décadas, ha sido más cálida que todas las anteriores” (Planos y Gutiérrez Ed., 2020).

En consecuencia, se hace necesario visualizar estos impactos sobre el régimen térmico del aire, cambiando la representación habitual de los mapas climáticos basados en promedios y valores extremos, por otros elementos más representativos del régimen térmico local, como son los percentiles de las distribuciones de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire, representativos de las condiciones diurnas y nocturnas de este importante elemento del clima.

La estructura del percentil 99 del valor estival de las temperaturas máximas diarias del aire del periodo 1979-2017 se muestra en la Fig. 3. La mayor parte

del territorio nacional, con la única excepción de las zonas montañosas, presenta la ocurrencia de máximas superiores a los 34°C, pero las máximas diarias superan los 36°C en una amplia zona que se extiende desde la cuenca del río Cauto en Granma, hasta la provincia de las Tunas, así como en toda la vertiente sur de la Sierra Maestra, hasta Santiago de Cuba y en la llanura costera de Guantánamo.

De manera análoga, el comportamiento predominante de las temperaturas mínimas nocturnas en el verano es superior a los 24°C en la mayor parte del territorio nacional (Fig. 4), pero sus valores sobrepasan los 26°C en una amplia zona costera septentrional que se extiende hacia el oeste, desde la costa norte de la provincia de Guantánamo hasta los cayos al nordeste de Villa Clara, con nueva presencia en las costas meridionales de Pinar del Río y en casi todo el territorio de la Isla de la Juventud. En algunos puntos las mínimas nocturnas sobrepasan los 28°C en el verano.

En el otro extremo de la marcha anual del régimen térmico, la distribución del mapa invernal del percentil 1 de la temperatura máxima del aire se muestra en la Fig. 5. Como se observa, el país se divide en dos partes: en toda la región centro-occidental de Cuba las temperaturas máximas diurnas quedan por debajo de los 22°C; pero en casi toda la porción norte de las provincias desde Pinar del Río hasta Villa Clara, incluyendo sus zonas montañosas, el valor de las temperaturas máximas desciende a menos de 20°C en invierno en los eventos extremos.

Por supuesto, el comportamiento de las temperaturas mínimas invernales para este valor percentil resulta también muy notable. Como muestra la Fig. 6, en toda la región centro-occidental, incluyendo a la Isla de la Juventud, así como en las montañas orientales, las temperaturas mínimas invernales bajan de 10°C y son inferiores a 12°C hasta la provincia de Las Tunas.

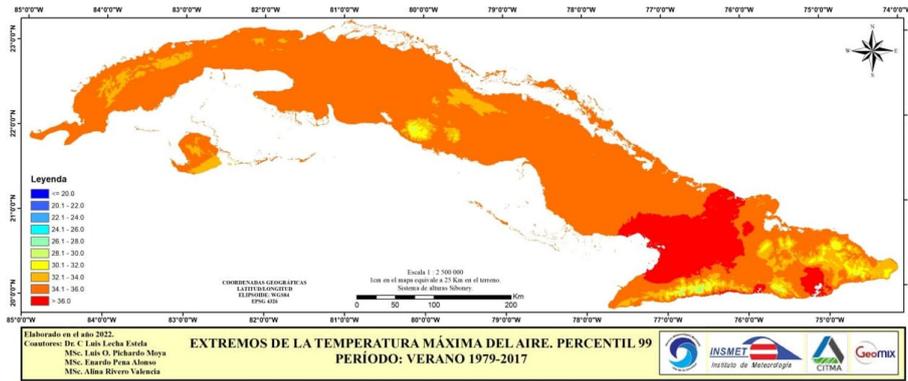


Figura 3. Percentil 99 de la temperatura máxima del aire en verano (1979-2017).

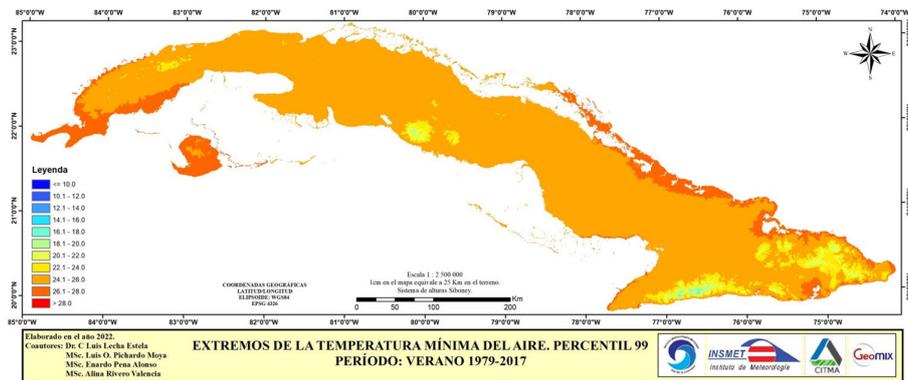


Figura 4. Percentil 99 de la temperatura mínima del aire en verano (1979-2017).

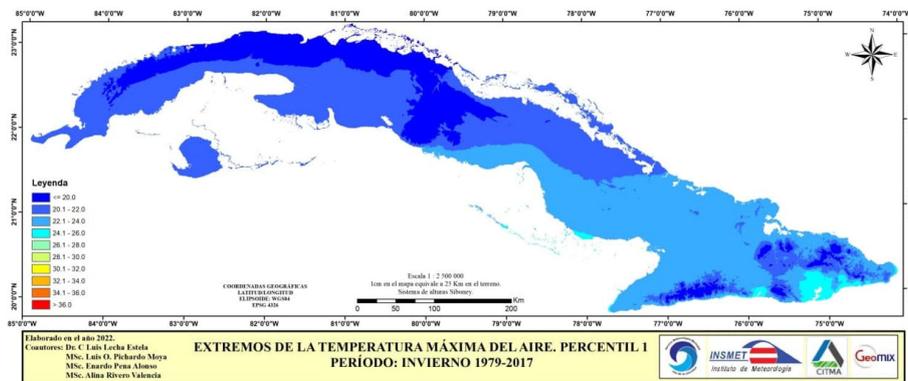


Figura 5. Percentil 1 de la temperatura máxima invernal del aire (1979-2017).

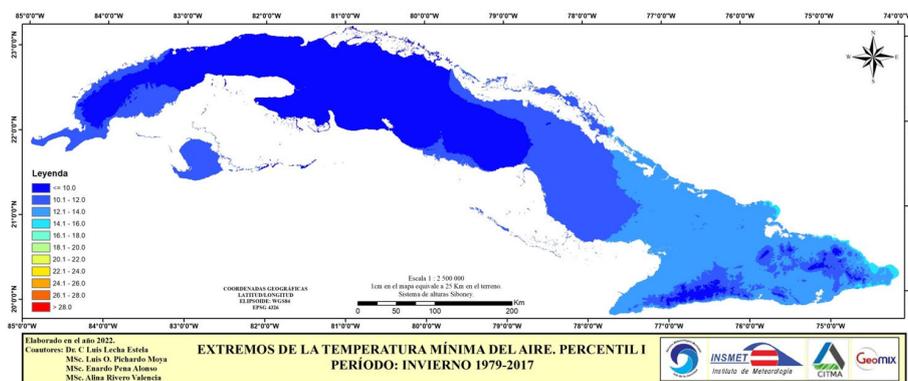


Figura 6. Percentil 1 de la temperatura mínima invernal del aire (1979-2017).

En general, el rango de variación de las temperaturas extremas diarias del aire en Cuba oscila entre 0°C y 40°C en cifras redondas, con las temperaturas máximas diurnas más altas y frecuentes en la región oriental, mientras que las temperaturas mínimas más bajas y frecuentes ocurren en la región centro-occidental, especialmente en las áreas interiores que ocupa la gran llanura de La Habana a Matanzas, así como en las zonas montañosas más elevadas.

Los datos diarios de las 68 estaciones meteorológicas cubanas permiten inferir para todos los meses del año, los valores de referencia bioclimática del intervalo de la temperatura del aire al que está mejor adaptada la población local, utilizando para ello las categorías del régimen térmico del aire definidas por Lecha y Florido (1989). Estos valores cambian

en el transcurso del año, pueden aumentar en verano hasta 2°C por encima del umbral anual o disminuir en igual medida durante los meses invernales. También cambian entre 2°C y 3°C, a medida que el punto de referencia se traslada del occidente al centro y el oriente del país, así como en las zonas montañosas; y cambian a nivel local, según los complejos y diversos factores que influyen en la adaptación de la población.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, más el análisis espacio-temporal de las categorías, tipos y subtipos del régimen térmico en Cuba, basado en el comportamiento de las temperaturas extremas diarias del aire, Lecha (2019) propone una asociación entre los umbrales de adaptación de la población cubana y las características estacionales y locales del régimen térmico (Tabla 1), a partir de la cual resulta posible evaluar la sensibilidad térmica de la población cubana.

Tabla 1. Relación entre los umbrales de adaptación de la población cubana y las características estacionales y locales del régimen térmico.

| Características Generales | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Buena adaptación al estrés por calor y muy alta sensibilidad a los cambios bruscos del tiempo en cualquier época del año. | B5 |
| Buena adaptación al estrés por calor y alta sensibilidad a los cambios del tiempo con efectos meteoro-tropicos en el invierno. | B4 | B4 | B4 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B4 | B4 | B4 |
| Adaptación estacional diferente, con mayor sensibilidad al cambio C4-B5 en el tránsito del invierno al verano. | C4 | C4 | C4 | C4 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B4 | C4 |
| Adaptación estacional diferente, con mejor adaptación al estrés por calor y sensibilidad al cambio C4-B5 en ambos tránsitos estacionales. | C4 | C4 | B5 | C4 |
| Adaptación estacional diferente, con menor adaptación al estrés por calor y sensibilidad moderada ante los cambios estacionales. | C4 | C4 | C4 | C4 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | C4 | C4 |
| Adaptación estacional diferente, con menor adaptación al estrés por calor y sensibilidad moderada al cambio B5-C4 del verano al invierno. | C4 | C4 | C4 | C5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | C4 | C4 |
| Buena adaptación al estrés por calor diurno, con aumento de los efectos meteoro-tropicos durante las noches desde noviembre hasta abril. | C5 | C5 | C5 | C5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | C5 | C5 |
| Menos adaptados al calor intenso, con preferencia por el tiempo fresco y sensibilidad al cambio D4-C5 del corto invierno al tránsito invierno-verano. | D4 | C5 | C5 | C5 | C5 | B5 | B5 | B5 | B5 | B5 | C5 | C5 |
| Baja adaptación al calor intenso, con efectos meteoro-tropicos en el verano y mayor sensibilidad al cambio D4-C4 del corto invierno al tránsito invierno-verano. | D4 | D4 | C4 | C4 | C4 | C5 | C5 | C5 | C5 | C5 | C4 | C4 |
| Típico de las premontañas, con baja adaptación al calor, efectos meteoro-tropicos en verano y alta sensibilidad al tránsito invierno-verano. | D4 | D4 | D4 | C4 |
| Típico de las montañas bajas, alta sensibilidad ante el estrés por calor y buena adaptación al frío, con efectos meteoro-tropicos en verano. | C3 | C3 | C3 | C4 | C3 | C3 |
| Típico de las montañas medias, muy baja adaptación al calor y muy buena adaptación al frío, con baja sensibilidad a los efectos meteoro-tropicos y al cambio estacional. | D3 | D3 | D3 | D3 | C3 | D3 |

Leyenda de las categorías del régimen térmico del aire:

| | |
|-----------|---|
| B5 | Días muy cálidos. |
| B4 | Días cálidos con pequeña oscilación térmica diaria. |
| C5 | Días muy cálidos con marcada oscilación térmica diaria. |
| C4 | Días confortables con noches frescas |
| D4 | Días confortables con noches frías |
| C3 | Días frescos |
| D3 | Días fríos |

El aumento progresivo desde el año 2010 de la incidencia nacional de los días con sensaciones de calor intenso es una de las consecuencias de los impactos del cambio climático sobre el clima de Cuba, más visible en las provincias orientales. Al mismo tiempo, está disminuyendo la frecuencia anual de los días con sensaciones de frío intenso, pero cuando estos ocurren, los efectos meteorológico-tropicales asociados a ellos son masivos y diversos en todo el país, porque la población está mucho menos adaptada a las temperaturas por debajo de su zona de bienestar térmico.

Dada la diversidad de factores físico-geográficos, ambientales y socioeconómicos que intervienen en el proceso de adaptación de la población local, el estudio de los impactos potenciales del régimen térmico extremo sobre la salud de la población cubana demanda urgentes e imprescindibles valoraciones integrales.

Perspectivas del comportamiento del régimen térmico

En todos los años del período considerado, la frecuencia anual de los días con la media anual de las temperaturas máximas diarias superiores a 33°C y la media anual de las temperaturas mínimas diarias superiores a 24°C está aumentando de manera progresiva y estable, indicando el aumento de las condiciones estresantes por calor intenso tanto diurnas como nocturnas (Fig. 7). En el transcurso de ambas marchas anuales se destacan máximos importantes de la incidencia anual en los bienios 2009-2010, 2015-2016 y en el 2019-2020.

Sin embargo, el comportamiento de las condiciones estresantes del régimen térmico asociadas al frío, presentan una disminución de sus frecuencias anuales durante el período 2001-2020, tanto de las temperaturas máximas inferiores a 24°C como de las mínimas inferiores a 15°C, que son los umbrales de inicio de los efectos biotrópicos por frío en ambos

casos. En las dos series se observa un máximo notable y coincidente de las frecuencias de las sensaciones frías en el bienio 2009-2010, cuya génesis está en los eventos extraordinarios de frío intenso ocurridos en esos años.

Las temperaturas máximas medias anuales de toda Cuba muestran una tendencia creciente que satisface el test de Mann-Kendall, y dicha tendencia aumenta a partir de un punto de cambio que se define claramente en el año 2012 (Tabla 2). De igual forma, las anomalías de esta variable con respecto al promedio del período 1981-2010 también aumentan de manera estable desde el año 2012 y llegan al 2021 con un valor nacional de 0.57°C.

La progresión estimada para los próximos años de las anomalías anuales de la temperatura máxima media nacional se intentó mediante el mejor ajuste a una función polinomio de segundo grado ($R^2=0.3562$) que plantea como resultados anomalías de 0.62°C para el 2030 y 1.07°C en el 2050. De igual forma, en el caso de las anomalías anuales de la temperatura mínima media nacional también se demuestra la existencia de una marcada tendencia positiva, en este caso con un punto de cambio en el año 2010 y llega al año 2021 con un valor de 0.66°C. La proyección creciente de estas anomalías también fue estimada mediante el mejor ajuste a una función polinomio de segundo grado ($R^2=0.4461$), que propone los valores de 0.95°C para el año 2030 y 2.26°C para el 2050, ratificando que el proceso de calentamiento de las noches en Cuba avanza más rápido que el calentamiento diurno, hecho que ya ha sido referido por trabajos precedentes.

Características de la mortalidad en exceso en Cuba (2001-2020)

La mortalidad diaria reportada por todos los municipios, provincias, regiones y épocas del año se expresó en función de su tasa de incidencia por

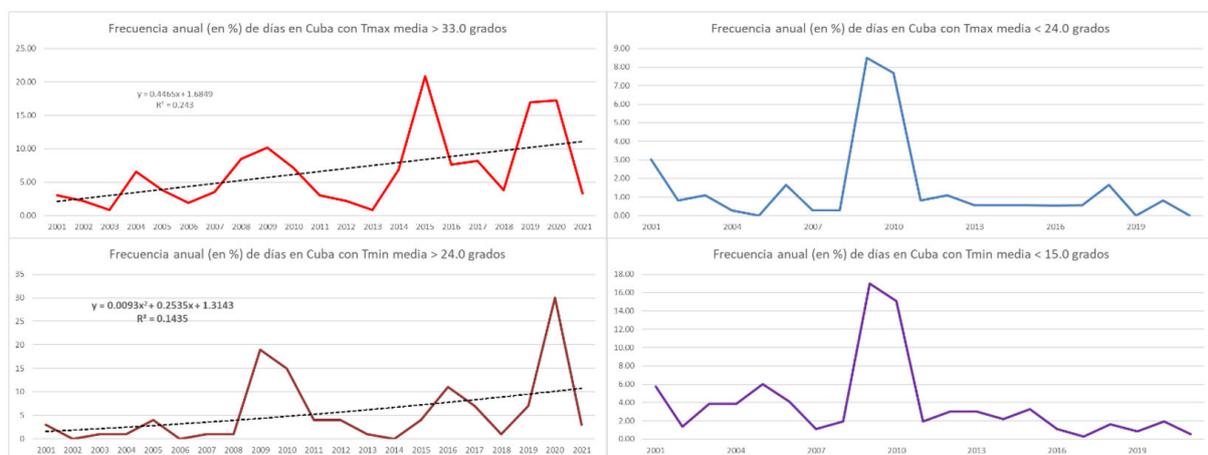


Figura 7. Frecuencias anuales en % de los días con temp. máximas (izquierda) y mínimas (derecha) por encima y por debajo de sus umbrales biotrópicos.

Tabla 2. Tendencias y puntos de cambio en las series anuales.

| Elementos | Alpha 1 | Alpha 0 | Kendall-Man (alpha1<=alpha0) | Alpha 1 | Alpha 0 | Result. Pettit (alpha1<=alpha0) |
|------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|---------------------------------|
| Series 2001-2020 | | | | | | |
| Tmínima | 0.0013 | 0.0500 | Existe | 0.0031 | 0.0500 | Año 2012 |
| Tmedia | 0.0035 | 0.0500 | Existe | 0.0018 | 0.0500 | Año 2012 |
| Tmáxima | 0.0477 | 0.0500 | Existe | 0.0116 | 0.0500 | Año 2012 |
| MortGen | 0.0000 | 0.0500 | Existe | 0.0009 | 0.0500 | Año 2009 |
| MortEx | 0.0003 | 0.0500 | Existe | 0.0051 | 0.0500 | Años 2008-2013 |
| Series 1979-2021 | | | | | | |
| Tmínima | 0.0001 | 0.0500 | Existe | 0.0027 | 0.0500 | Año 2010 |
| Tmedia | 0.0000 | 0.0500 | Existe | 0.0017 | 0.0500 | Año 2010 |
| Tmáxima | 0.0001 | 0.0500 | Existe | 0.0100 | 0.0500 | Año 2012 |

1,000 habitantes, según las poblaciones estimadas hasta junio del año 2010, calculándose las sumas, los promedios diarios, mensuales, anuales y por épocas del año de todos los 20 años de la muestra y para el período general.

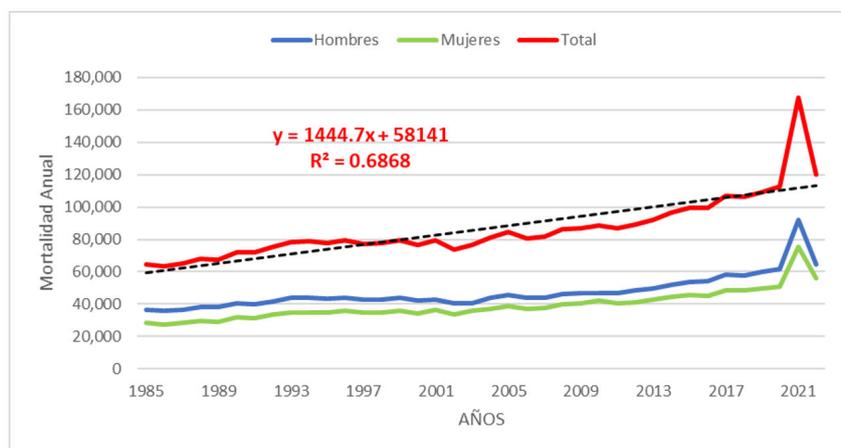
Según el Anuario Estadístico de Cuba 2022 (ONEI, 2023), la marcha multianual de la mortalidad general mantiene hasta el año 2020 una tendencia creciente y estable, caracterizada por una función lineal con coeficiente cuadrático $R^2 = 0.6868$; pero este comportamiento se interrumpe de manera abrupta en los años 2021 y 2022 (Fig. 8), por el impacto producido por la epidemia de Covid-19, hecho que justificó la exclusión de esos años de este trabajo, al tiempo que ejemplifica la utilidad del uso de la mortalidad en exceso (MortEx) como indicador de referencia de los eventos sanitarios extraordinarios.

El total de fallecidos en Cuba desde el 1 de enero de 2001 hasta el 31 de agosto de 2020 fue de un millón 785,523 personas. De esta cifra se eliminaron 116,926 muertes producidas por accidentes, quedando una mortalidad general de un millón 668,597 individuos, que fue la muestra utilizada para calcular la mortalidad en exceso. Dicho cálculo arrojó un total de 25,659 muertes en exceso en todo el país, cuya marcha diaria se muestra en la Fig. 9.

En primer lugar, se destaca el aumento de la mortalidad en exceso (MortEx) a partir del bienio 2009-2010, y muy especialmente desde el año 2014. Son relevantes seis días con MortEx superior a 100 fallecidos/día, que acumulan 685 muertes en exceso y se ubican dos días en enero de 2010, un día en enero de 2018 y tres días en el año 2020, uno en enero y dos en marzo.

En orden descendente, le sigue otro grupo de 13 días con mortalidad en exceso entre 81 y 100 fallecidos/día, el cual acumula 1,141 muertes en exceso; más un tercer grupo de 40 días con MortEx entre 61 y 80 fallecidos, que suma 2,726 muertes adicionales en exceso. O sea, por encima del umbral de 60 muertes en exceso se reportan 59 días que acumulan 4,552 muertes en exceso, de manera que en menos del 1 % de los días del período estudiado ocurre el 17.7 % de los fallecidos en exceso del país. Además, en todo el decenio 2001-2010 se reportan solamente 2,654 muertes en exceso, mientras que en el decenio 2011-2020 ocurren 23,005 muertes en exceso. Esta diferencia representa un aumento neto de 8.7 veces, lo cual es notable.

Los días con más de 60 muertes en exceso en Cuba comienzan el 8 de febrero de 2009, antes no existen casos con esa magnitud, su ocurrencia es mayoritaria en invierno con 28 casos (70 %), distribuidos entre



Fuente: Anuario Estadístico de Cuba, 2022.

Figura 8. Mortalidad anual en Cuba, por sexos y total, durante el período 1985-2022.

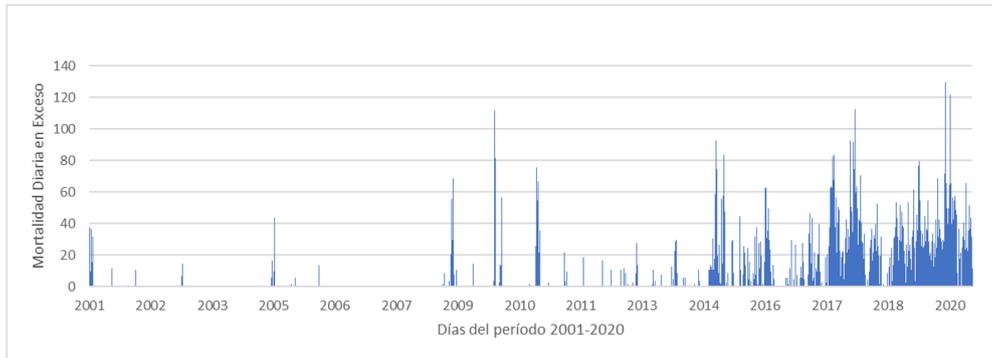


Figura 9. Marcha diaria de la mortalidad en exceso en Cuba (2001-2020)

los meses del período poco lluvioso; pero los 12 días restantes (30 %) ocurren en verano: uno en mayo, tres en junio, siete en julio y uno en agosto, todos a partir del año 2017, por lo que se trata de hechos relativamente recientes.

En todas las provincias aumenta progresivamente la mortalidad en exceso, estando el máximo en el año 2020, a pesar de haberse excluido de la muestra los últimos cuatro meses de ese año para evitar el impacto de la Covid-19. Aun así, el comportamiento de las tendencias regionales manifiesta agudos crecimientos no lineales.

La Fig. 10 muestra las funciones matemáticas que describen las tendencias de MortEx en ambas mitades de Cuba. Para la zona oriental es un polinomio de tercer grado con un coeficiente cuadrático $R^2 = 0.9553$; mientras que la función de mejor ajuste para la mitad occidental es un polinomio de segundo grado con coeficiente $R^2 = 0.8640$. O sea, la tendencia al aumento es más agresiva en oriente, así como su representatividad estadística. Además, en la mitad occidental el máximo secundario del año 2010 es mucho mayor y afecta la pendiente de la serie temporal, por lo cual disminuye el valor del coeficiente R^2 , y es un hecho que aporta una cualidad muy diferente al comportamiento entre ambas regiones.

En la Tabla 2 también se incluyó el resultado del análisis de tendencia efectuado a las series nacionales de la mortalidad general y en exceso. En ambos casos se ratificó la existencia de tendencias positivas y fue posible realizar el mejor ajuste de la marcha multianual de la mortalidad en exceso en Cuba,

mediante una función polinomio de segundo grado con coeficiente cuadrático $R^2 = 0.8415$, que describe el comportamiento anual de MortEx para todo el país y está dada por la expresión:

$$Y = 28.77X^2 - 356.87X + 901.52 \quad (4)$$

Donde X es la cantidad de años transcurridos desde el 2001 (año cero).

Aplicando la expresión (4) se estimó el comportamiento prospectivo de la mortalidad anual en exceso para toda Cuba en los próximos años 10 años, a partir del 2020, lo cual ofrece la secuencia indicada en la Tabla 3.

Como se aprecia, en los 10 años del decenio 2021-2030 se estima que la mortalidad anual en exceso del país aumente tres veces, lo cual representa un ritmo acelerado de este indicador y constituye una señal de alerta que debe ser tenida en cuenta.

La génesis meteoro-tropical de los máximos de MortEx

El máximo absoluto de los días con MortEx ocurre el 24 de enero de 2020 con 130 fallecidos, pero en realidad fueron seis días consecutivos que acumularon 190 muertes en exceso en todo el país (Fig. 11-A). La causa predisponente fue una compleja y cambiante situación meteorológica, caracterizada por la formación y desarrollo de una baja extratropical en el sudeste del Golfo de México, condiciones de hipoxia por calor y vientos del sur sobre Cuba, que dieron paso a un cambio de tiempo muy contrastante por la llegada de un frente frío a la región occidental el día 25 de enero.

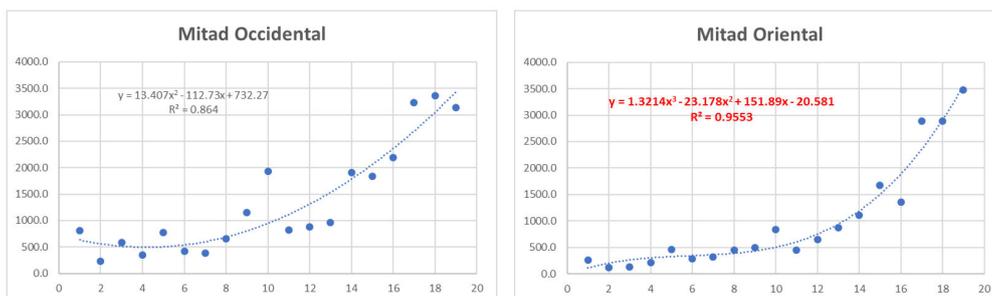


Figura 10. Funciones regionales de la mortalidad en exceso (2001-2019).

Tabla 3. Secuencia estimada de MortEx en Cuba hasta el año 2030.

| Años | 2020 | 2022 | 2024 | 2026 | 2028 | 2030 |
|---------|------|------|------|-------|-------|-------|
| MortEx | 5272 | 6975 | 8908 | 11071 | 13465 | 16088 |
| Aumento | 0.00 | 1.32 | 1.69 | 2.10 | 2.55 | 3.05 |

Otro máximo relevante de la mortalidad en exceso, con características similares al anterior, ocurre el 14 de enero de 2010 con 112 fallecidos, dentro de un evento de siete días sucesivos, comprendidos del 11 al 17 de enero, que tuvo un acumulado de 380 fallecidos en exceso (Fig. 11-B).

El notable evento de enero 2010 estuvo asociado a un cambio de tiempo muy contrastante, por la entrada de un frente frío clásico, seguido de sensaciones de hiperoxia fuertes, provocadas por un intenso anticiclón continental con temperaturas muy frías y fuertes vientos de región Norte. Después la rápida transformación del anticiclón continental provocó intensas sensaciones de hipoxia (color rojo en los mapas de la Fig. 12), todo lo cual contribuyó a la incidencia de marcados efectos meteoro-tropicos en todo el país, incluyendo el aumento de la mortalidad diaria.

La oscilación total del contenido de oxígeno del aire durante este notable proceso fue de 11.4 g/m³ al inicio, por el cambio de la masa de aire tropical a extratropical y de 14.8 g/m³ al final cuando terminó la transformación del anticiclón continental.

El año 2010 cerró diciembre con tres eventos sucesivos de MortEx que generaron 149 muertes en exceso: el primero del 16 al 19 acumuló 70 fallecidos, el segundo fue en un día aislado: el 22 de diciembre con solo 4 muertes en exceso; pero el último comenzó el 28 de diciembre y se extendió hasta el 1 de enero 2011, dando lugar a 75 nuevas muertes en exceso al

cierre del año, acumulando un total de 149 fallecidos en exceso (Fig. 13).

Los ejemplos antes mencionados cambiaron el comportamiento cualitativo y cuantitativo de los eventos de MortEx en el país a partir del bienio 2009-2010, porque los eventos invernales con mortalidad en exceso ocurridos anteriormente tuvieron lugar en días aislados; pero a partir de 2010 empiezan a manifestarse de forma preferente en sucesiones de dos y hasta seis días consecutivos.

Uno de los ejemplos notables, posteriores al año 2010, de días consecutivos con efectos meteoro-tropicos invernales múltiples, capaces de actuar como un factor externo predisponente del aumento de la mortalidad diaria, ocurrió en febrero de 2015, mes en el que se contabilizaron 361 muertes en exceso, asociadas a cuatro ciclos de impacto de procesos extratropicales intensos.

El primero venía en desarrollo desde finales de enero de 2015 y estaba asociado a sensaciones de hipoxia moderadas a fuertes, típicas de la etapa final del proceso de transformación de un intenso anticiclón continental. Abarcó los primeros tres días de febrero y acumuló 63 muertes en exceso en todo el país (Fig. 14).

El segundo ocurre de manera aislada el día 14 de febrero, asociado a la llegada de un frente frío revésino que recorre todo el país, produciendo un cambio de tiempo débil, pero que justifica la génesis meteoro-tropica de las tres muertes en exceso reportadas ese día.

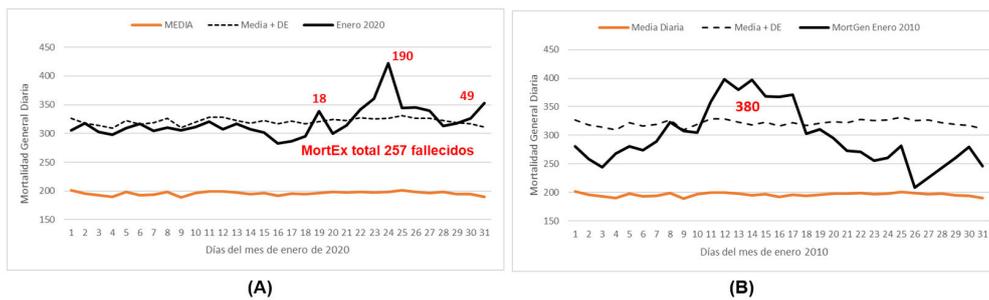


Figura 11. MortEx ocurrida en Cuba: (A) Durante varios eventos fríos de enero 2020 y (B) En el notable evento de enero 2010.

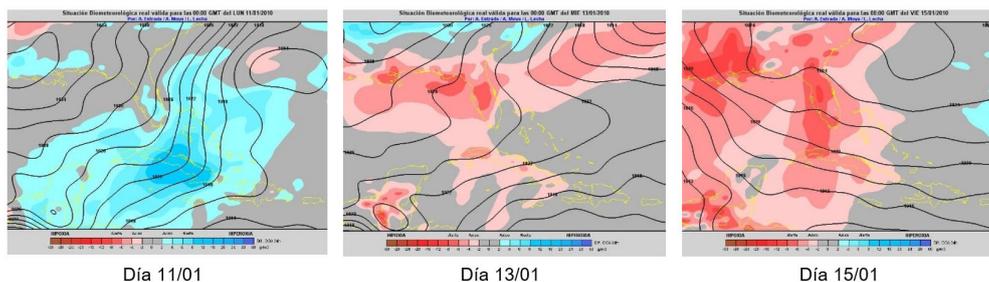


Figura 12. Mapas biometeorológicos del 11 al 15 de enero de 2010.

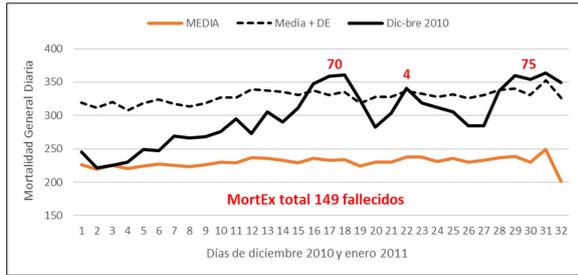


Figura 13. MortEx ocurrida en Cuba en diciembre de 2010.

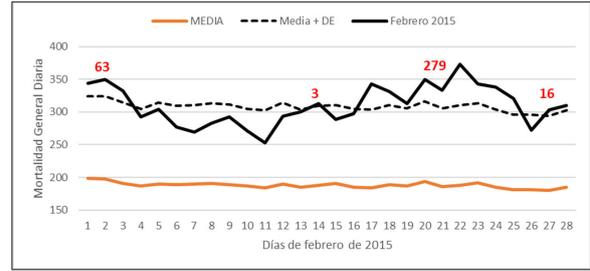


Figura 14. MortEx ocurrida en Cuba en febrero de 2015.

Sin embargo, la dinámica de los procesos sinópticos en el área sigue muy activa y comienza la formación de una baja extratropical en el nordeste del Golfo de México, lo cual unido al debilitamiento del anticiclón oceánico, produce una hipoxia moderada a fuerte sobre casi todo el territorio nacional los días 17 y 18 de febrero, dando paso a la entrada de un frente frío fuerte el 19, evento que sí produjo un cambio de tiempo muy contrastante (Fig. 15).

El anticiclón que seguía al frente se movió rápidamente al este, debilitándose, proceso que originó el cambio de tiempo inverso: de hipoxia a hipoxia, y en consecuencia ocurren fuertes sensaciones de hipoxia sobre Cuba los días 22 y 23 de febrero. La variabilidad de los procesos sinópticos continuó muy activa y dio paso a la formación de una nueva baja extratropical al norte y cerca de la región occidental del país, iniciando un nuevo ciclo de efectos meteoro-trópicos, con el cual concluyó este prolongado y notable evento, que tuvo un máximo nacional notable de la mortalidad diaria con 373 fallecidos, de ellos 63 muertes en exceso, el día 22 de febrero de 2015.

Los episodios de MortEx en los meses del verano son relativamente recientes, y por lo general, no ocurren en días aislados, porque la adaptación al calor de la población cubana es muy buena y varios estudios indican que se necesitan, al menos tres días consecutivos con mucho calor, para que empiecen a ocurrir las meteoropatías asociadas (Lecha et al., 2015; Barcia et al., 2021), incluyendo el aumento de la mortalidad diaria. Además, tienen una génesis muy diferente a los episodios invernales, pues ocurren durante la persistencia de días muy cálidos y soleados, con vientos débiles y escasas

precipitaciones, vinculados a la influencia cercana del anticiclón subtropical del Atlántico norte sobre Cuba.

La condición sinóptica que caracterizó el verano de 2017 fue el predominio de la influencia cercana del anticiclón oceánico (Fig. 16), con buen tiempo, días soleados y escasa nubosidad, dada la amplia extensión vertical y horizontal del anticiclón, que penetra hasta México y limita los procesos de precipitación sobre su gran área de influencia.

Un ejemplo de estos eventos ocurrió en el verano de 2017, cuando se registró una ola de calor de larga duración que abarcó desde el 19 de junio hasta el 14 de septiembre de ese año (Fig. 17), acumulando un total nacional de 2,621 muertes en exceso, con dos máximos diarios superiores a 80 fallecidos en exceso los días 24 de julio y 4 de agosto, respectivamente.

Esta prolongada ola de calor estuvo conformada por seis periodos de días consecutivos, separados por un día aislado sin mortalidad en exceso, siendo el más largo de 49 días, comprendido entre el 26 de junio y el 13 de agosto, etapa en que hubo 1,967 muertes en exceso en todo el país, equivalentes al 75 % de la mortalidad en exceso ocurrida ese verano en Cuba.

La relación mortalidad en exceso vs temperaturas extremas diarias del aire

Los resultados del análisis de correspondencia entre las series diarias categorizadas de la mortalidad en exceso y las temperaturas extremas diarias del aire en Cuba, permiten aceptar la existencia de una relación estadística entre estas variables, por lo cual se aplicó el programa *TabCont* para valorar la relación 2D entre pares de variables, utilizando múltiples tablas de contingencia con las frecuencias de los vínculos entre los valores de la mortalidad en exceso para Cuba, versus los promedios nacionales correspondientes de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire.

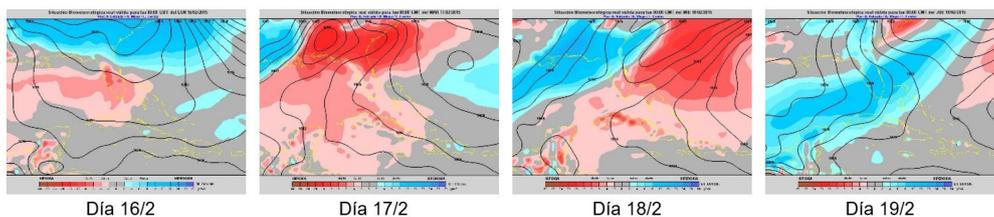


Figura 15. Sucesivos cambios de tiempo entre el 16 y 19 de febrero de 2015.

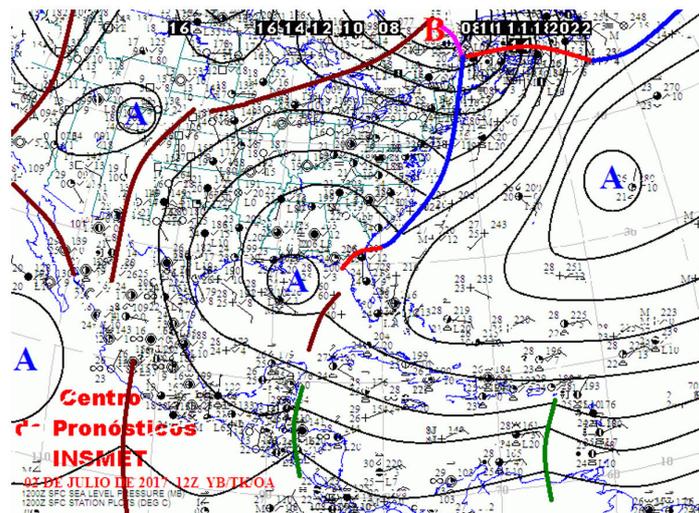


Figura 16. Proceso sinóptico predominante durante el verano de 2017.

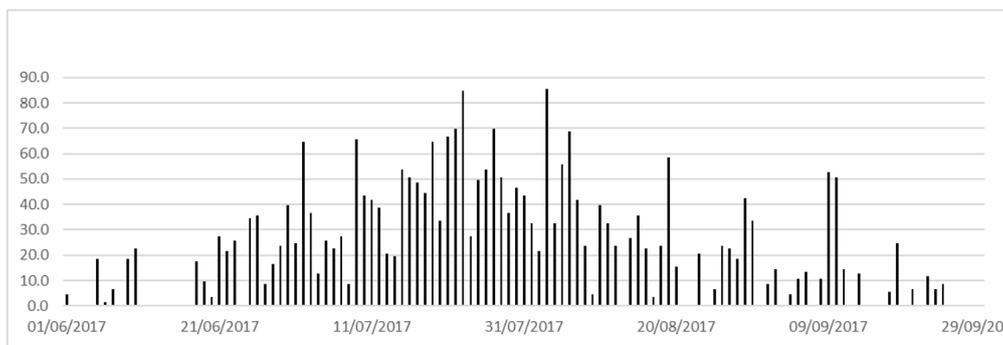


Figura 17. MortEx diaria en Cuba del 1 de junio al 30 de septiembre de 2017.

Las salidas de las tablas de contingencia se obtienen para la muestra completa del período 2001-2020, por épocas del año y para los decenios 2001-2010 y 2011-2020 (Fig. 18).

Las relaciones encontradas fueron variadas y marcan aspectos novedosos que están ocurriendo en el clima cubano. En primer lugar, en los casos de las sensaciones de frío, el promedio nacional de las temperaturas máximas diarias inferiores o iguales a 21°C tiene una elevada relación con la mortalidad en exceso, especialmente en los días con más de 40 fallecidos en exceso, hecho que se reitera en el invierno con las máximas inferiores a 21°C en los días con MortEx superior a 60 fallecidos/día.

La relación de los promedios diarios nacionales e invernales de las temperaturas mínimas inferiores o iguales a 12°C también brinda similares resultados, al establecer una relación definida con los días de mayor mortalidad en exceso, lo cual ratifica el importante impacto que tienen las sensaciones de frío sobre la salud de la población cubana.

En el caso de las sensaciones extremas de calor, se destacan varias asociaciones entre los intervalos de MortEx y los promedios de las temperaturas máximas y mínimas para la muestra completa, en el tránsito invierno-verano y en el pleno verano; pero

a diferencia de lo que sucede con las sensaciones de frío, en el caso del calor extremo el vínculo de mayor frecuencia es con los intervalos de menos de 40 fallecidos/día.

Este resultado plantea una importante diferencia en las características de estos efectos meteorotrópicos: los asociados al frío intenso generan cifras diarias de MortEx superiores al intervalo de 31 a 40 muertes en exceso, pero son eventos de pocos días o de días aislados y suceden en espacios territoriales más restringidos, generalmente las zonas interiores, alejadas de las costas, de las regiones occidental y central del país; mientras que los efectos meteorotrópicos asociados al calor intenso generan mortalidad diaria en exceso inferior al intervalo de 31 - 40 fallecidos, ocurren en secuencias de varios días sucesivos, se manifiestan en todo el territorio nacional, con excepción de las regiones montañosas más altas y debido a su mayor duración, logran acumular cifras significativas de miles de muertes en exceso.

También son notables las diferencias encontradas en el vínculo de MortEx con las temperaturas extremas diarias del aire entre los decenios (Fig. 19).

En el decenio 2001-2010 hay coincidencia con el impacto de las sensaciones de frío intenso sobre MortEx, tanto de las temperaturas máximas inferiores

a 21°C como de las mínimas inferiores a 12°C, pero en el decenio 2011-2020 el cambio es notable, pues el umbral de impacto de las temperaturas máximas sube hasta los 24°C; hecho que se observa también con el umbral de impacto de las mínimas, el cual sube hasta los 15°C, aunque las mínimas mantienen en este decenio una fuerte relación con los eventos de MortEx superiores a 60 fallecidos/día.

Estos resultados fundamentan el hecho que está disminuyendo la adaptación de la población local a las sensaciones de frío intenso, porque se eleva el umbral de impacto biotrópico, tanto diurno como nocturno, hechos que indican la mayor sensibilidad (o vulnerabilidad) al frío de la población expuesta, incluso en la noche, cuando están más protegidas en sus hogares.



Figura 18. Relaciones 2D de la muestra total y por épocas del año.

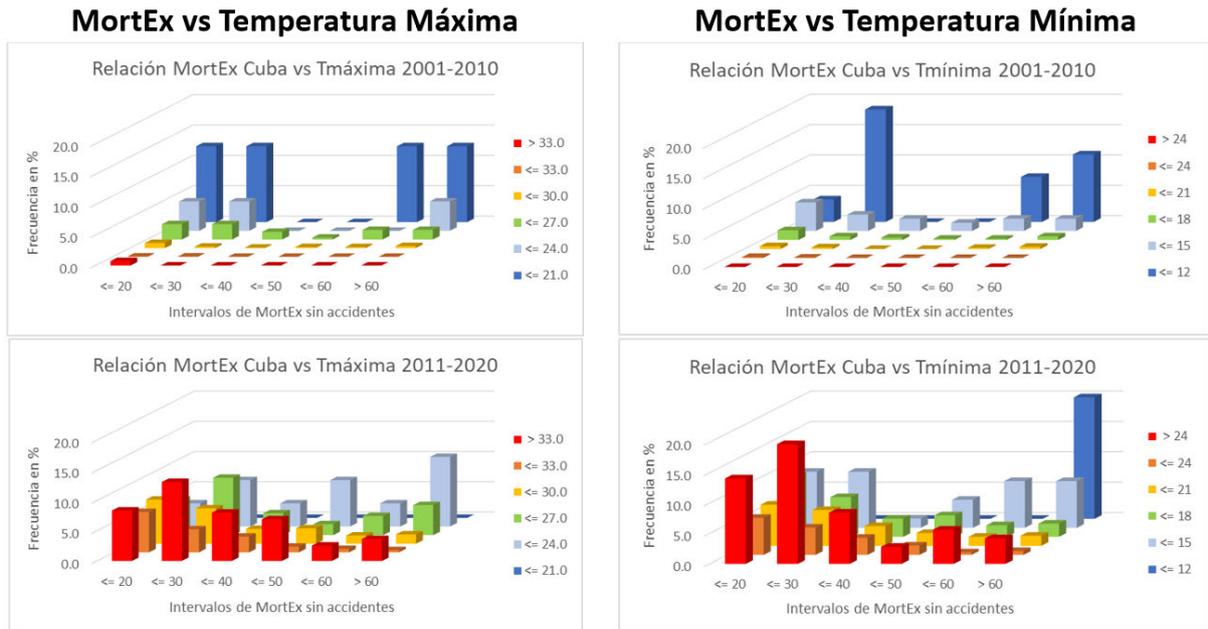


Figura 19. Relaciones 2D de la muestra total por decenios.

Sin embargo, lo más relevante de esta relación entre el aumento de la mortalidad y los valores extremos de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire, respectivamente, está en la posibilidad de su expresión matemática. Esto expresa una diferencia fundamental en el comportamiento de la mortalidad general, con respecto a la mortalidad en exceso, ante el impacto de las sensaciones térmicas extremas por calor o frío, que es válida para todo el país (Fig. 20).

DISCUSIÓN

El clima de Cuba va manifestando gradualmente las consecuencias del impacto que está provocando la variabilidad del clima global sobre la región del Caribe. Comienzan a cambiar los procesos de la circulación atmosférica que influyen sobre el país, la mayor influencia anticiclónica de origen oceánico y continental contribuye a la disminución de la nubosidad y va generando menos días con

precipitación, mayor incidencia de las radiaciones solares y el aumento de la temperatura del aire, todo esto ocurre poco a poco, en ocasiones más rápido y en otras menos, porque este es un proceso global muy complejo y en el cual intervienen múltiples factores.

Estos cambios del clima van generando cambios en los ecosistemas, incluyendo la sociedad humana y sus actividades. Las poblaciones (no solo humanas) comienzan a experimentar cambios en sus patrones de adaptación térmica, porque están cambiando las características de las diferentes épocas del año, cambian los procesos migratorios de las aves, cambian los períodos y fechas de maduración de diferentes cultivos y cambia también la sensibilidad térmica de las personas, que en el caso de Cuba, se manifiesta en una creciente adaptación al calor extremo, a cambio de una deficiente adaptación al frío intenso, especialmente en las provincias más orientales del país, donde las condiciones invernales se manifiestan menos.

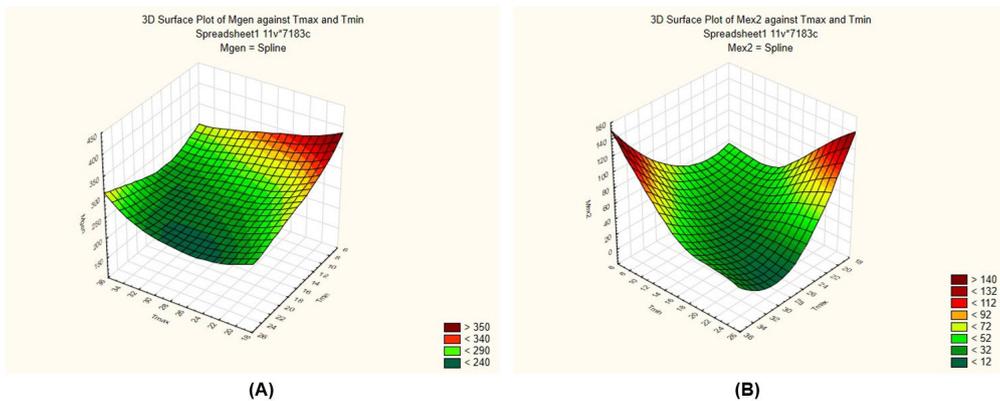


Figura 20. Relación 3D entre las temperaturas máximas, las mínimas y la mortalidad diaria: (A) General; (B) En exceso.

La población cubana tiene una adecuada cultura meteorológica, producto de años de experiencia en el enfrentamiento a los desastres de origen hidrometeorológico y a la existencia de adecuados sistemas de protección civil y sanitarios, se acepta que los cambios de tiempo pueden producir algunos síntomas o crisis leves de la salud, pero no existe una percepción correcta de la magnitud del actual riesgo meteorológico, que se manifiesta en el aumento de la mortalidad diaria entre los grupos vulnerables de la población expuesta a la variabilidad global del clima y a los eventos extremos del estado del tiempo.

La cifra de 25,659 muertes en exceso en el período 2001-2020, sin considerar los fallecidos por todo tipo de accidentes, ni los asociados a la epidemia de Covid-19, es altamente preocupante. Si se asume que solo la mitad de este número tiene una génesis meteorológica, eso significa que solamente en el período 2001-2020 han muerto en Cuba por causa meteorológica muchas más personas de las que han muerto por desastres naturales de origen hidrometeorológico en toda la historia reciente del país, incluyendo las catástrofes de los grandes huracanes de 1926 en la Habana, 1932 en Santa Cruz del Sur, 1944 nuevamente en el occidente de Cuba, el ciclón Flora en 1963 y el hundimiento del vapor "Valbanera" en 1919, entre otras.

Y esto sucede porque la mortalidad meteorológica actual no solamente ocurre en situaciones de desastre o durante el impacto de grandes huracanes o intensos tornados, está ocurriendo por los efectos meteorológicos asociados a nuevos peligros como son las olas de calor o de frío, los episodios de contaminación del aire y la ocurrencia frecuente de cambios de tiempo muy contrastantes, que actúan sobre una población cada vez más vulnerable y expuesta a ellos.

También sucede porque las estadísticas oficiales no consideran como causa de muerte el impacto de los efectos meteorológicos, ya que este actúa como un factor externo que predispone a la ocurrencia masiva de meteoropatías cardiovasculares, cerebrovasculares, respiratorias, neurológicas, incluso las condiciones del tiempo pueden ser la génesis de accidentes catastróficos del transporte, especialmente aéreos.

Sin embargo, la causa meteorológica casi nunca aparece como la primera causa de muerte, la acción catalizadora de los efectos meteorológicos queda en un segundo plano, aunque es real y demostrable desde el punto de vista físico y fisiopatológico (Freire, 2023).

En realidad, la existencia de este sólido vínculo entre los promedios nacionales de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire con la mortalidad en exceso, concuerda con los resultados que se manifiestan, cada vez con mayor frecuencia en otros países y regiones. A pesar de la buena adaptación al calor de la población cubana, desde los eventos notables de calor intenso del año 2015,

queda claro que ya ocurren en Cuba olas de calor similares a las que reportan otros países, asociadas a los efectos globales del cambio climático; aunque con características peculiares que responden a las condiciones específicas del clima cubano.

En el caso de las sensaciones de frío intenso se aprecia una paradoja: si bien se está acortando la duración del invierno y la incidencia de los días invernales se hace intermitente, debido al gran desbalance de energía entre latitudes, pueden llegar hasta Cuba intensas invasiones de aire frío polar, asociadas a rupturas de la circulación del Vórtice Polar y entonces se desarrollan procesos sinópticos capaces de provocar diversos y masivos efectos meteorológicos, incluyendo días con máximos diarios de MortEx más mortíferos que los vinculados al calor intenso.

CONCLUSIONES

Se demuestra la validez de utilizar la mortalidad diaria en exceso como indicador de los impactos potenciales de los efectos meteorológicos asociados al calor y frío extremos sobre la salud de la población cubana, problema que puede considerarse reciente, porque se manifiesta desde los años 2009-2010 y que se vincula con los impactos más generales que el cambio climático ya está produciendo sobre toda la región del Caribe, incluyendo a Cuba.

Se aprecia una importante diferencia cualitativa y cuantitativa en las magnitudes de la mortalidad diaria en exceso asociadas a las sensaciones de calor y frío intensos. En el primer caso, la MortEx por calor comienza después de tres días de intenso estrés térmico actuando sobre los grupos de la población local en situación de vulnerabilidad, la MortEx diaria no sobrepasa como regla las 30 muertes/día, pero ocurre durante varios días sucesivos, en ocasiones durante prolongados períodos de días sucesivos, favorecidos por la influencia cercana del anticiclón oceánico, por lo cual la MortEx acumulada en estos eventos puede alcanzar varios cientos y hasta miles de personas.

Los eventos de MortEx asociados al frío intenso son más mortíferos, pueden provocar más de 100 fallecidos en un día y ocurren en días aislados o en sucesiones cortas de dos a tres días, su génesis está dada por los cambios de tiempo invernales muy contrastantes, que producen variadas alteraciones de todo el complejo biometeorológico, las que se pueden agrupar según las consecuencias sanitarias asociadas a la intensidad de las condiciones de hipoxia (alta presión, poca humedad y temperaturas frías) o a las condiciones de hipoxia (baja presión, humedad y temperaturas altas) que ocurren durante estos cambios del tiempo.

A pesar de ser un problema relativamente reciente, el comportamiento futuro de las variables analizadas

indica que los impactos de los efectos meteorotrópicos extremos asociados al calor y el frío intensos sobre la salud de la población cubana deben aumentar en los próximos años, por lo cual se debe prestar una atención priorizada y oportuna a su prevención y enfrentamiento.

REFERENCIAS

- Alfonso, A. (1994). Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología. Ed. Academia, La Habana; 168 p. ISBN 959-02-0060-5.
- Arrastía, M. y Limia, M. (2011). Energía y Cambio Climático. Ed. Academia, La Habana; 247 pp. ISBN 978-959-270-227-1.
- Barcia, S.; Otero, M.; Hernández, D.; Gómez, D. y Camacho, L. (2020). Comparación de diferentes índices bioclimáticos en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(3): 1-10.
- Barcia, S., Guevara, A.V., Estrada, Y., y Otero, M. (2021). Los extremos climáticos por calor. *Rev. Cubana Meteorología*, 27(1): 14-22.
- Checchi, F. y Roberts, L. (2005). Interpreting and using mortality data in humanitarian emergencies: a primer for non-epidemiologists. *Humanitarian Practice Network*, 25. Overseas Development Institute; 87 p.
- Conner, M.A. (2015). Approaches to climate change & health in Cuba. Interview with Cuban climate change experts: Guillermo Mesa and Paulo Ortiz. *Rev. Medica Review*, 17(2): 6-9.
- De la Vega, T., Pérez, V., Alerm, A. y Lecha, L. (2010). El asma bronquial y su asociación con los cambios de tiempo. *Rev. Cub. Medicina General Integral*, 26(4): 665-672, octubre-diciembre. ISSN 0864-2125.
- De la Vega, T., Pérez, V., Alerm, A. y Lecha, L. (2011). Estrategia de intervención para la monitorización y reducción de las crisis de asma bronquial aplicando un sistema de alerta temprana. *Rev. Cub. Medicina General Integral*, 27(2): 754-763, abril-junio. ISSN 0864-2125.
- De la Vega, T. y Lecha, L. (2011). Prevención y mitigación de los efectos del estado del tiempo sobre la salud humana. Parte I: las crisis agudas de asma bronquial. En: *Salud y Desastres. Experiencias Cubanas*, 2. Ed. Ciencias Médicas, La Habana: 85-98. ISBN 978-959-212-547-6.
- Estrada, Y. (2011). Análisis de índices de ola de calor en las condiciones de Cuba. Tesis de Licenciado, InsTec, La Habana, 56 p.
- Estrada, A. y Moya, A. (2011). Manual de Usuario del Sistema Automatizado para la Elaboración de Mapas Operativos. CMP de Villa Clara, INSMET; 46 p.
- Fernández-Arroyabe, P. y Lecha, L. (2011). Validación del servicio global de pronósticos biometeorológicos. Resultados de Cuba y España. En: *Salud y Desastres. Experiencias Cubanas*, 2. Ed. Ciencias Médicas, La Habana: 35-45. ISBN 978-959-212-547-6
- Freire, J.L. (2023). Cambio climático, ritmo biológico y enfermedad cerebrovascular en Sagua la Grande. Tesis en opción del grado científico de Dr. en Ciencias Médicas, Univ. Médica de Villa Clara, Santa Clara; 173 p.
- García, E.A. y Mengana, A. (2011). Comportamiento de las muertes por fulguración en Cuba entre los años 1987-2008. En: *Salud y Desastres: Experiencias Cubanas*, 2: 60-72. Ed. Ciencias Médicas, La Habana. ISBN 978-959-212-547-6.
- Guevara, A., Díaz, E., Sosa, A., Lecha, L., Pichardo, L.O. y Rivero, A. (2021). Bases de datos estandarizadas de las temperaturas extremas diarias del aire de Cuba y de la mortalidad diaria por municipios. Informe de Resultado Científico-Técnico, INSMET, La Habana; 40 p.
- ICGC - Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1978). Atlas de Cuba por el XX Aniversario del Triunfo de la Revolución Cubana, La Habana.
- INSMET - Instituto de Meteorología (1987). Atlas Climático de Cuba. Tomo 1. Ed. ICGC, La Habana; 212 p.
- Lecha, L. y Chugaev, A. (1989). La bioclimatología y algunas de sus aplicaciones en las condiciones de clima tropical húmedo. Ed. Academia, La Habana; 35 p.
- Lecha, L. y Florido, A. (1989). Principales características climáticas del régimen térmico del archipiélago cubano. Ed. Academia, La Habana, 56 p.
- Lecha, L., Acosta, T., Pérez, M., Taboada, P. y Ávila, M. (1991a). Efectos del tiempo y el clima sobre la crianza de aves de ceiba (Parte I). *Rev. Cub. Ciencias Avícolas*, 18(2): 184-192.
- Lecha, L., Acosta, T., Pérez, M., Taboada, P. y Ávila, M. (1991b). Efectos del tiempo y el clima sobre la crianza de aves de ceiba (Parte 2). *Rev. Cubana Ciencias Avícolas*, 18(3): 196-199.
- Lecha, L. (1992). Caracterización compleja del clima de Cuba. *Rev. Cub. Met.*, 5(1): 94-105.
- Lecha, L. y Linares, F. (1992). El golpe de calor en la avicultura. Propuestas para su control y pronóstico. *Rev. Cub. Ciencias Avícolas*, 19(1): 4-8.
- Lecha, L. (1993). Estudio bioclimático de la provincia de Cienfuegos. Ed. Academia, La Habana; 131 p. ISBN 959-02-0027-3.
- Lecha, L., Paz, L.R. y Lapinel, B. (1994). El clima de Cuba. Ed. Academia, La Habana; 186 p. ISBN: 959-02-006-0.
- Lecha, L. y Delgado, T. (1996). On a regional health watch and warning system. En: Proceedings of the 14th Int. Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia; Part 2, Vol. 3: 94-107.
- Lecha, L. (1998). Biometeorological classification of daily weather types for the humid tropics. *Int. Journal of Biometeorology*, 42(2): 77-83.

- Lecha, L., García, D. y Carvajal, E. (2015). ¿Ocurren olas de calor en Cuba? *Rev. Espacio y Geografía*, 18(3): 517-541. ISSN 1516-9375.
- Lecha, L. (2019). Pronósticos Biometeorológicos [eBook]. Ed. Citmatel, La Habana; 210 p. ISBN 978-959-237-752-3.
- Lecha, L. (2020). Servicios meteorológicos frente a la Covid-19 en Cuba: análisis de tres casos de estudio. *Rev. Cub. Transf. Digital*, 1(3): 51-66. ISSN 2708-3411.
- Lecha, L., Rodríguez, B. y Santana, I. (2022). La mortalidad diaria en Cuba. En: *El cambio climático y la salud en Cuba*. Borroto, S.M., Suárez, S., Del Puerto, A., Eds. Ed. Ciencias Médicas, La Habana. ISBN: 978-959-316-022-3.
- Martín, D y Lecha, L. (2012). La variabilidad espacio-temporal del régimen térmico en España como fundamento para evaluar los efectos potenciales del estado del tiempo sobre la salud humana. En: Resúmenes del VIII Congreso de la Asoc. Española de Climatología, Salamanca, España, Septiembre 22-26.
- Nielsen, J., Mazick, A., Andrews, N., Detsis, M., Fenech, T.M., Flores, V.M. y otros (2013). Pooling European all-cause mortality: methodology and findings for the seasons 2008-2009 to 2010-2011. *Epidem. Infect.*, 141(9):1996:2010.
- ONEI (2023). Anuario Estadístico de Cuba 2022. Oficina Nacional de Estadística e Información, La Habana; 407 p.
- Ortiz, P.L., Guevara, V. y Pérez, A. (2009). Impactos del cambio climático en el sector de la salud humana. Medidas de Adaptación. Informe Final. Proyecto FP/CP/220097-12, Instituto de Meteorología, La Habana; 86 p.
- Planos, E., Vega, R. y Guevara, A. Ed. (2013). Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. INSMET-AMA-CITMA, La Habana; 430 p. ISBN: 978-959-300-039-0.
- Planos, E. y Gutiérrez, T. Ed. (2020). Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. CITMA, La Habana; 403 p. ISBN: 978-959-300-170-0.
- Ramírez, H.U., Andrade, M.D., De la Torre, O., García, M.E., Meulenert, A.R. García, O. y Alcalá, J. (2008). Evaluación de eventos climáticos extremos y su impacto en la salud de América Latina. Ed. Univ. Guadalajara, IAM, Jalisco, México; 179 p. ISBN 978-970-27-1324-1.
- Rivero, A., Bolufé, J., Ortiz, P., Rodríguez, Y. y Reyes, M.C. (2015). Influencia de la variabilidad del clima sobre la mortalidad por infarto agudo de miocardio en La Habana, 2001-2012. *Rev. Medice Review, Selecciones*: 1-7.
- Rodríguez, Y., Rivero, A., Roura, P., Reyes, M.C., Hernández, D. y Heredia, L.F. (2022). Efecto de las sensaciones térmicas en la enfermedad cerebrovascular en la región Occidental de Cuba, 2001-2012. *Rev. Cubana Meteorología*, 28(3): 23-31.
- Sauchay, L., Rivero, A. y Ortiz, P.L. (2017). Mortalidad por accidentes cerebrovasculares e influencia de la variabilidad climática en el occidente de Cuba, 2001-2005. *Rev. Cub. Met.*, 23(1): 43-56. ISSN 0864-151X.
- Sauchay, L. (2023). Riesgo de mortalidad cerebrovascular asociado a los efectos de las temperaturas y la contaminación del aire en las capitales brasileñas. Tesis en opción del grado científico de Dr. en Salud Pública y Medio Ambiente, Esc. Nac. Salud Pública, Río de Janeiro, Brasil; 204 p.
- Toledo, H. (1992): Estudios de la factibilidad para pronosticar los incrementos de las consultas por asma bronquial y por infecciones respiratorias agudas. Tesis de Doctorado, Inst. Sup. Ciencias Med. de La Habana; 185 pp.
- Valido, S. (1993). La mortalidad en Cuba en los últimos 80 años. Grupo Interdisciplinario de Estudios de Salud, Inst. Sup. Ciencias Médicas de La Habana; 42 p.
- Velázquez, B. (2019). La condición de frío intenso como nuevo indicador de extremos bioclimáticos. Tesis de Licenciado, InsTec, La Habana; 80 p.
- Vestergaard, L.S., Nielsen, J., Richter, L., Schmidt, D. y otros (2020). Excess all-cause mortality during the Covid-19 pandemic in Europe - Preliminary pooled estimates from the EuroMOMO network. Marzo-Abril, *Euro Surveill*, 25(26): 200-212.

Luis B. Lecha Estela. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Instituto de Meteorología. Teléfono: +53 55008683. E-mail: luis.lecha@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. E-mail: enardopena@gmail.com

Andrés Guevara Rincón. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Instituto de Meteorología. Teléfono: +53 52168403. E-mail: andresongr@gmail.com