Reporte Epidemiológico Nacional
Volumen 2 Número 2 – mayo – agosto de 2020

Riesgo de desarrollo de enfermedades asociadas a olas de calor en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca

Johanna Katherine Bernal-Sotelo[1]
1. Instituto Nacional de Salud

Citación sugerida: Bernal-Sotelo JK. Riesgo de desarrollo de enfermedades asociadas a olas de calor en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca. REN [Internet]. 2020 abr.; 2(1):16-31.
DOI: **https://doi.org/10.33610/01229907.2020v2n2a2**

Resumen

Introducción: en países del trópico como Colombia, el impacto de las olas de calor en la salud humana ha sido poco documentado, de manera que se desconoce si la morbilidad asociada a exposición al calor ambiental podría estar relacionada en alguna medida con los cambios de temperatura que se vienen experimentado en las últimas décadas y que se han atribuido al calentamiento global.

Objetivo: identificar las zonas de Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca con mayor riesgo de desarrollo de golpes de calor y enfermedades relacionadas con la exposición al calor ambiental.

Materiales y métodos: se usó el programa MAXENT para calcular la probabilidad de ocurrencia de casos de golpe de calor y enfermedades similares según la temperatura máxima superficial, con base en la máxima entropía de los datos.

Los datos usados para alimentar el programa y generar los modelos para Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca fueron: número de atenciones en salud por hipertermia, golpe de calor y otras enfermedades asociadas a exposición al calor ambiental, clasificadas en 21 códigos CIE10 y cartografía en formato raster generada por el IDEAM, donde el valor de cada píxel corresponde a la temperatura máxima superficial diaria registrada durante el primer trimestre de 2015 y 2016.

Resultados: con probabilidades mayores al 70 %, se encontró que las zonas que están en riesgo de presentar enfermedades relacionadas con hipertermia se localizan principalmente, en Antioquia, al oriente, sur y centro del departamento, en Valle del Cauca en toda la zona de influencia del río Cauca y

en Atlántico a lo largo de todo su territorio. Los porcentajes de contribución de la temperatura superficial a los modelos predictivos, generados por fecha para los tres departamentos, indicaron que la temperatura de hasta dos y tres días antes de la atención en salud, fue la de mayor relevancia (>80 % de contribución) para la generación de golpe de calor y enfermedades similares.

Conclusión: la vigilancia de eventos relacionados con enfermedades asociadas a la exposición al calor natural ambiental debe ser intensificada en las zonas del país que naturalmente tienden a presentar condiciones ambientales que favorecen la ocurrencia de olas de calor y en urbes densamente pobladas. La generación de modelos geográficos predictivos que usan información ambiental y registros de atenciones en salud es una alternativa que ayuda a enriquecer la inteligencia epidemiológica ante diferentes riesgos ambientales que trae consigo el cambio climático y potencialmente pueden afectar la salud de los colombianos.

Palabras clave (DECS): golpe de calor; ola de calor; exposición al calor ambiental; modelación geoespacial; MAXENT.

Correspondencia a *:* Johanna Katherine Bernal*, Instituto Nacional de Salud; editorial.vigilancia@ins.gov.co*

Reporte Epidemiológico Nacional
Volumen 2 Número 2 – mayo – agosto de 2020

The risk of developing diseases associated with heatwaves in Antioquia, Atlántico and Valle del Cauca

Johanna Katherine Bernal-Sotelo 1
1. Instituto Nacional de Salud

Suggested citation: Bernal-Sotelo JK. Riesgo de desarrollo de enfermedades asociadas a olas de calor en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca. REN [Internet]. 2020 abr.; 2(1):16-31.
DOI: https://doi.org/10.33610/01229907.2020v2n2a2

Resumen

Introduction: There is a lack of documentation in tropical countries like Colombia on the impact of heatwaves on human health. Therefore, it is unknown if the morbidity associated with exposure to environmental heat could be related to the changes in temperature experienced in recent decades and attributed to global warming.

Objective: To identify the areas of Antioquia, Atlántico and Valle del Cauca with the highest risk of developing heatstroke and diseases related to exposure to environmental heat.

Materials and methods: MAXENT software was used to calculate the probability of occurrence of heatstroke cases and similar diseases according to the maximum surface temperature, based on the maximum entropy of the data. The information used to feed the program and generate the models for Antioquia, Atlántico and Valle del Cauca was the number of health care visits for hyperthermia, heatstroke and other diseases associated with exposure to environmental heat. All data were classified into 21 ICD- 10 and mapping in raster format generated by Ideam, where the value of each pixel corresponds to the maximum daily surface temperature recorded during the first quarter of 2015 and 2016.

Results: with probabilities greater than 70 %, it was found that the areas at risk of presenting diseases related to hyperthermia are located mainly in Antioquia, at the east, south and center of the department. In Valle del Cauca throughout the area of influence of the Cauca river and the Atlantic throughout

the entire territory. The percentages of surface temperature contribution to the predictive models, generated by date for the three departments, indicated that the temperature up to two and three days before a health care attention was the most relevant (>80 % contribution) for the generation of heatstroke and similar diseases.

Conclusion: surveillance of events related to diseases associated with exposure to natural environmental heat should be intensified in areas of the country that naturally tend to present environmental conditions that favour the occurrence of heatwaves and in densely populated cities. The generation of predictive geographic models that use environmental information and health care records is an alternative that helps enrich epidemiological intelligence in the face of different environmental risks due to climate change that can potentially affect Colombians' health.

Keywords (DECS): heatstroke; heatwave; exposure to environmental heat; geospatial modeling; MAXENT.

Correspondence to: Johanna Katherine Bernal, *Instituto Nacional de Salud; editorial.vigilancia@ins.gov.co*

Introducción

Publicaciones recientes sobre el impacto del calentamiento global en la salud sugieren que los mayores problemas son originados por olas de calor cada vez más intensas y largas (1, 2) que son exacerbadas por la generación de islas térmicas en las grandes ciudades (3, 4). El impacto de las olas de calor en la salud humana ha sido documentado principalmente en países subtropicales (5); sin embargo, según Mora, et al., (6) los países tropicales también están siendo afectados por este fenómeno derivado del cambio climático, sólo que allí, el sistema de reporte de morbilidad y mortalidad por hipertermia es deficiente, tal como sucede en Colombia. Además, tampoco se ha investigado sobre coincidencias entre los casos y posibles patrones espaciales y temporales a nivel nacional. El impacto de las olas de calor en la última década ha sido exacerbado por la formación de islas térmicas en áreas urbanas, prueba de ello son las cada vez más intensas olas de calor que han afectado importantes ciudades norteamericanas y europeas entre 2003 y 2010 (7). De manera que las islas térmicas o focos de calor son otro fenómeno que debe analizarse para entender su interacción con las olas de calor y su papel en la generación de golpes de calor por complicaciones en la regulación de la temperatura corporal.

El panorama futuro advierte sobre graves consecuencias a nivel mundial dado el caso que no se logre mantener el calentamiento global promedio por debajo de 2° C, ya que se prevé que, a finales de siglo, el 74 % de la población estará expuesta a olas de calor letales (6, 8). Las zonas tropicales serán las más afectadas por las olas de calor porque podrían experimentar un incremento importante en el número de días (hasta 120 días más por temporada) con temperaturas más elevadas de lo habitual (aumento >5° C) (8). Es cierto que los habitantes del trópico pueden estar más "adaptados" a condiciones de temperatura elevada; sin embargo, en estas regiones la alta humedad relativa del aire (que aumentará aún más en el trópico), podría impedir que la termorregulación sea efectiva, porque los umbrales de temperatura mortales para el ser humano se alcanzarían a temperaturas menores respecto a zonas de latitudes altas y medias (1, 9).

Cuando la transpiración no contribuye plenamente a termorregular el organismo, se pueden presentar problemas de deshidratación, agotamiento, calambres, síncope y golpes de calor que en definitiva llevan a la hipertermia y con ella a una alta probabilidad de fallas cardiovasculares (4, 5). La relación entre temperaturas ambientales extremas y mortalidad cardiovascular está bien documentada en el mundo, especialmente en países de zonas subtropicales (10, 11); no obstante, en Colombia, se desconoce si la morbilidad asociada a exposición al calor podría estar relacionada en alguna medida a los cambios de temperatura que se han experimentado, especialmente en años recientes que han

sido altamente afectados por el Fenómeno del Niño (12).

Teniendo en cuenta que en la actualidad el riesgo de morir o desarrollar enfermedades por el efecto de olas de calor está subestimado en regiones tropicales como Colombia, precisamente por falta de información, es necesario promover investigaciones que empiecen desde ya a caracterizar y analizar la asociación entre golpes de calor y condiciones ambientales propias de las olas de calor. De esta manera podremos afrontar los retos de salud que vienen junto con el cambio climático. Por esto el presente documento propone generar modelos geográficos que permitan identificar a nivel espacial las zonas con mayor riesgo de desarrollo de golpes de calor y enfermedades relacionadas con la exposición al calor ambiental. Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los departamentos de Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca, priorizados según reportes históricos de altas temperaturas durante 2015 y 2016 afectados por el Fenómeno del Niño (13) y reportes de casos de mortalidad y morbilidad asociados a aumento de temperatura ambiental (registros Sivigila). También se consideraron los modelos predictivos de Mora, et al., (6) y Perkins-Kirkpatrick y Gibson (8) que sugieren que las regiones Caribe y Andina tienen alto riesgo de ocurrencia de olas de calor mortales por albergar la mayor parte de las ciudades principales, lo que favorece la formación de islas térmicas. Los municipios por departamento que finalmente se incluyeron en los análisis, corresponden a aquellos en los que se registraron casos de las enfermedades de interés y que tenían disponibilidad de datos climáticos. No se trabajó con datos de mortalidad (directa o básica) porque los registros oficiales reportados en las estadísticas vitales nacionales son muy escasos (< 11 defunciones en todo el país), lo que no permite generar modelos predictivos.

Identificación de las zonas con mayor riesgo de desarrollo de enfermedades asociadas a olas de calor

Para llevar a cabo esta identificación, inicialmente se seleccionó en conjunto con el equipo de enfermedades crónicas de la dirección de Vigilancia del Instituto Nacional de Salud (INS), 86 códigos según CIE-10 de patologías relacionadas con exposición al calor natural o golpe de calor y cardiovasculares que puedan ser originadas, favorecidas o exacerbadas por las condiciones ambientales propias de las olas de calor, tal como el aumento de temperatura y la humedad del aire. No obstante, la selección final de códigos CIE-10 se realizó mediante consulta a expertos. Se envió una breve encuesta a siete médicos solicitando que calificaran las 86 enfermedades listadas con un valor igual a uno (si la enfermedad pudiera ser desencadenada por una ola de calor) o con cero (si la enfermedad no tiene ninguna relación con una ola de calor). La mayoría de los médicos no

consideró pertinente incluir las enfermedades cardiovasculares en el análisis porque no existe una relación de causa directa probada con factores climáticos. Por este motivo, se seleccionaron únicamente las 21 enfermedades relacionadas con golpe de calor o exposición al calor natural (tabla 1).

Tabla 1. Enfermedades relacionadas con golpe de calor o exposición al calor natural

CIE-10	DESCRIPCION
T670	Golpe de calor e insolación
T671	Sincope de calor
T672	Calambre por calor
T673	Agotamiento por calor, anhidrótico
T674	Agotamiento por calor debido a depleción de sal
T675	Agotamiento por calor no especificado
T676	Fatiga por calor, transitoria
X300	Exposición al calor natural excesivo: vivienda
X301	Exposición al calor natural excesivo: institución residencial
X302	Exposición al calor natural excesivo: escuelas, otras instituciones y áreas administrativas publicas
X303	Exposición al calor natural excesivo: áreas de deporte y atletismo
X304	Exposición al calor natural excesivo: calles y carreteras
X305	Exposición al calor natural excesivo: comercio y áreas de servicio
X306	Exposición al calor natural excesivo: área industrial y de la construcción
X307	Exposición al calor natural excesivo: granja
X308	Exposición al calor natural excesivo: otro lugar especificado
X309	Exposición al calor natural excesivo: lugar no especificado
T677	Edema por calor
T678	Otros efectos del calor y de la luz
T679	Efecto del calor y de la luz, no especificado
P810	Hipertermia del recién nacido inducida por las condiciones ambientales

Con el fin de seleccionar la fuente de datos de los eventos en salud relacionados con las olas de calor, se generó un cubo de la base de datos SISPRO para obtener información sobre el número de atenciones en salud relacionadas con los códigos CIE-10 seleccionados en las principales ciudades de los tres departamentos de interés (Medellín, Barranquilla y Cali) para el primer trimestre de 2015. Esta información se comparó con los datos facilitados por Sivigila para las mismas enfermedades y ciudades. Debido a que se encontró que SISPRO suministró información más completa, esta fuente de información secundaria fue seleccionada. Entonces, se procedió a hacer la consulta de los datos definitivos de número de atenciones en salud relacionadas con los 21 códigos seleccionados para el primer trimestre de 2015 y 2016, en todos los municipios de An tioquia, Atlántico y Valle del Cauca en los que el IDEAM tiene estaciones meteorológicas activas.

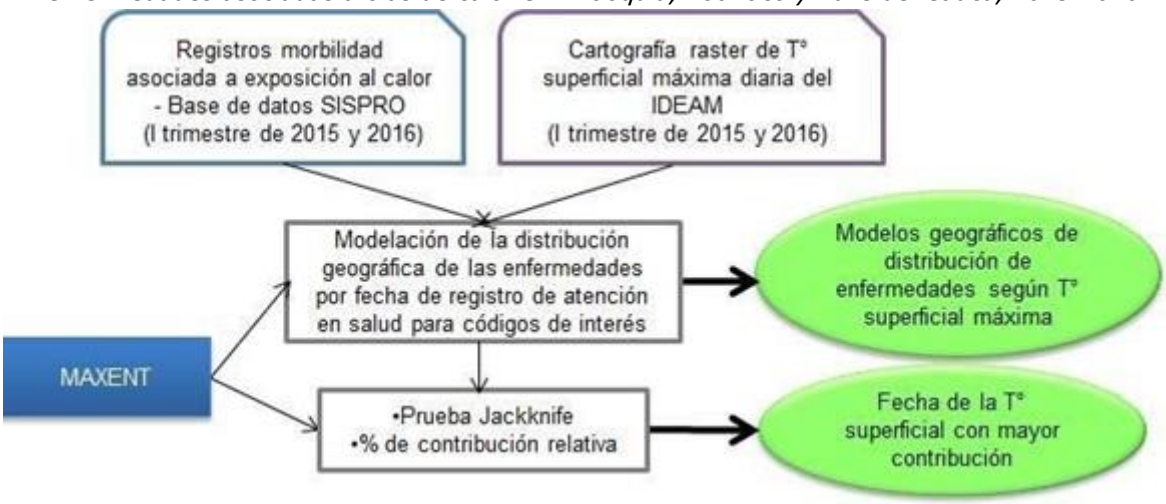
Luego, para identificar las zonas de los tres departamentos de interés con mayor probabilidad de presentar enfermedades asociadas a exposición al calor, se usó la cartografía en formato raster (pixeles de 4x4 km) suministrada por el Ideam sobre temperatura máxima superficial diaria para todo el territorio nacional que fue obtenida mediante el procesamiento de imágenes satelitales GOES. Los datos de las enfermedades de interés se organizaron por fecha, es decir que se agruparon todos los casos de las diferentes enfermedades que ocurrieron en una misma fecha y a cada una se le vinculó la información de ubicación geográfica en términos de coordenadas de longitud y latitud. Para identificar cada caso se le asignó un nombre que correspondió al código CIE-10 de las enfermedades registradas y a la fecha de notificación del caso (Ej. T671-T675-15012015). Sólo se pudo llevar a cabo este análisis con nueve fechas porque eran las únicas que tenían mínimo 10 casos de enfermedades, se localizaron en mínimo tres municipios de cualquiera de los tres departamentos de interés que contaban con información de temperatura superficial de por lo menos tres fechas, contando desde el mismo día en que se notificó la enfermedad y hasta tres días antes.

Tomando los datos de las enfermedades registradas por fecha como muestras y las capas geográficas de temperatura superficial de las diferentes fechas de interés como capas climáticas, se corrió el modelo logarítmico del programa *Maximum Entropy Modeling* MAXENT, siguiendo las recomendaciones de Guillera-Arroita et al., (14). Este modelo permite calcular la probabilidad prevista para que se presenten casos de golpe de calor y enfermedades similares según la temperatura, incluso en áreas donde no se tienen registros de morbilidad, con base en la máxima entropía de los datos (15).

El modelo se corrió adicionalmente tomando el 25 % de las muestras (registros de atenciones en salud) para llevar a cabo una evaluación de la distribución predicha mediante la generación del índice AUC-Test (Area Under Curve Test); este índice oscila entre 0,5 y 1,0, de manera que los valores más cercanos a 1,0 evidencian que la selección al azar de una localidad se ajusta al área propuesta por el modelo. También se llevó a cabo el análisis de contribución de variables mediante el cálculo del porcentaje de contribución y la prueba Jackknife, que evalúa la ganancia del modelo según el aporte de cada variable.

Mediante el uso de estos insumos, fue posible generar salidas gráficas que muestran la distribución de probabilidad de los casos de enfermedades asociadas a exposición al calor y similares por cada píxel de entrada (tamaño del píxel proporcionado por las capas ambientales usadas) en el territorio de los tres departamentos de interés. La metodología aplicada se resume en el esquema presentado en la figura 1.

Figura 1. Resumen de la metodología aplicada para identificar el riesgo de desarrollo de enfermedades asociadas a olas de calor en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca, 2015-2016



Resultados

2015

Los modelos de distribución de casos, generados para el primer trimestre de 2015, a partir de los datos de temperatura superficial máxima en los tres departamentos, presentaron valores de AUC >0,95. Esto quiere decir que la selección al azar de una localidad se ajusta en un porcentaje mayor al 95 % al área propuesta por el modelo.

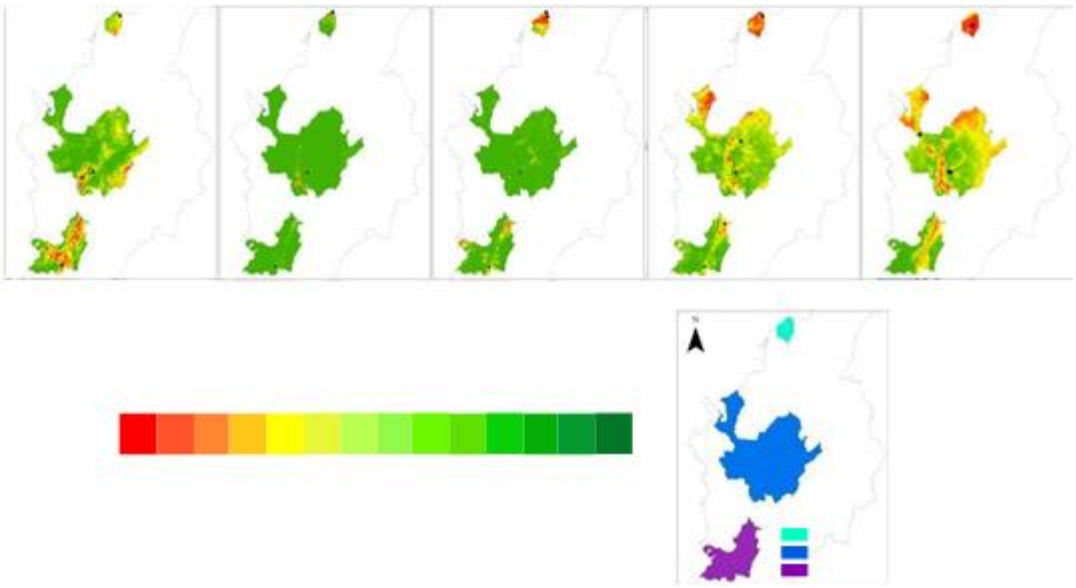
En Antioquia, se encontró que los modelos generados para enero, febrero y marzo de 2015 coincidieron en señalar que los municipios ubicados hacia el sur y suroriente tuvieron una probabilidad >70 % de presentar casos de enfermedades asociadas a exposición al calor. No obstante, los modelos generados a partir de los casos registrados en marzo 6 y 25, evidenciaron que además de la zona sur, las regiones ubicadas al oriente (Magdalena medio), norte (Bajo Cauca) y noroccidente del departamento (Urabá) también presentaron probabilidades >70 %. La zona central de Antioquia, principalmente la correspondiente al Valle de Aburrá, la que rodea al río Cauca (en todo su recorrido por el departamento de norte a sur) y la que se ubica entre los municipios de Uramita y Dabeiba alrededor de los ríos Herradura y Antado presentó probabilidades incluso superiores al 90 % en marzo 6 y 25 (figura 2).

En Atlántico, se encontró que en las tres fechas de marzo que fueron analizadas, la mayor parte del departamento tuvo una probabilidad >80 % de presentar casos de enfermedades asociadas a exposición al calor; mientras que el modelo correspondiente a enero 15, evidencia que principalmente hacia el sur del departamento (municipios de Suan, Santa Lucía, Campo de La Cruz, Candelaria, Manatí y parte de Sabanalarga) la probabilidad supera el

70 %. Al igual que Antioquia la fecha con menor probabilidad de presentar casos fue 18 de febrero de 2015 (figura 2).

Por su parte, en Valle del Cauca, el sector localizado en la zona de influencia del río Cauca (de norte a sur) tuvo las mayores probabilidades (>70 %) de presentar casos de enfermedades asociadas a exposición al calor en enero y marzo (especialmente, en el modelo de marzo 25). En el modelo generado con los casos presentados en enero 15, también se ve que, hacia el occidente del departamento, en los municipios de La Cumbre, Dagua y parte de Buenaventura, la probabilidad fue superior al 70 %. Al igual que Antioquia y Atlántico, en febrero 18, el modelo evidenció baja probabilidad de presencia de casos de hipertermia y similares en todo el departamento (figura 2).

Figura 2. Modelos espaciales probabilísticos para el primer trimestre de 2015 en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca



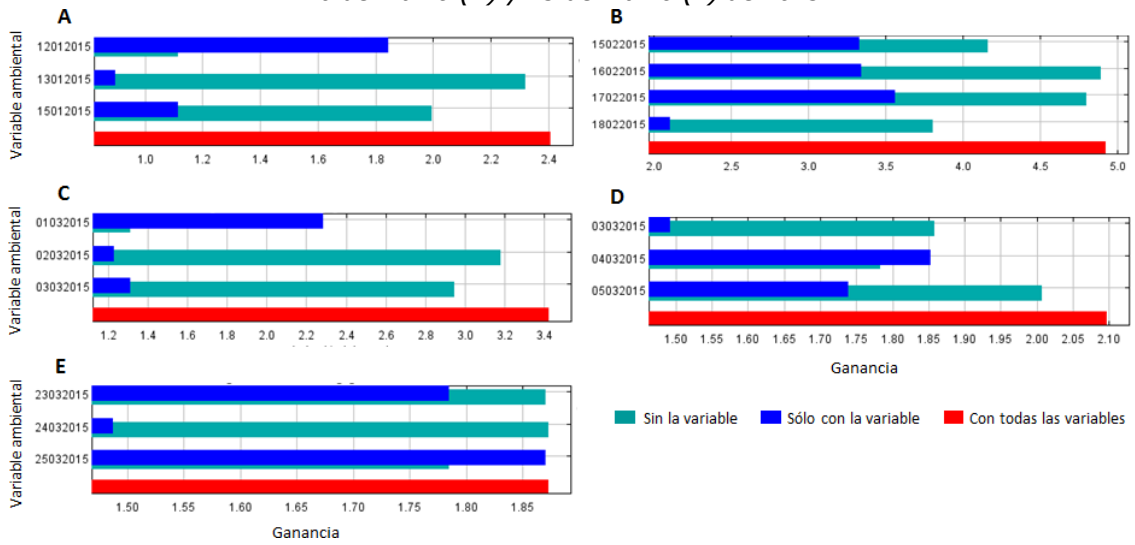
Fuente: INS 2020

Ahora bien, analizando la contribución de las capas de temperatura superficial usadas en los modelos de 2015 para los tres departamentos, según los resultados obtenidos con la prueba Jackknife y los valores de contribución relativa, la temperatura superficial del 12 de enero fue la que tuvo una mayor contribución (90,1 %) al modelo generado a partir de los casos registrados el 15 de enero de 2015 (figura 3 A). En cuanto al modelo del 18 de febrero de 2015, los valores de contribución relativa indican que la temperatura superficial del 16 y 17 de febrero son las que más contribuyen al modelo (33,3 % y 32,9 %, respectivamente); sin embargo, la prueba *Jackknife* muestra que la temperatura superficial del 18 de febrero

es la de menor importancia para el modelo (figura 3 B).

En marzo, la contribución relativa de la temperatura superficial del 1 de marzo fue la mayor (83,8 %) para el modelo del 3 de marzo de 2015 (figura 3 C), mientras que, para el 6 de marzo del mismo, año la temperatura del 4 de marzo fue la de mayor contribución relativa (89,5 %); no obstante, la prueba Jackknife indica que la temperatura del 5 de marzo también es útil para estimar la distribución de los casos de hipertermia del 6 de marzo (figura 3 D). En el caso del modelo del 25 de marzo, la temperatura del 23 y del mismo 25 de marzo, fueron las de mayor contribución relativa (55,1 % y 42,0 %, respectivamente) (figura 3 E).

Figura 3. Prueba Jackknife para los modelos del 15 de enero (A), 18 de febrero (B), 3 de marzo (C), 6 de marzo (D) y 25 de marzo (E) de 2015



Fuente: INS 2020

2016

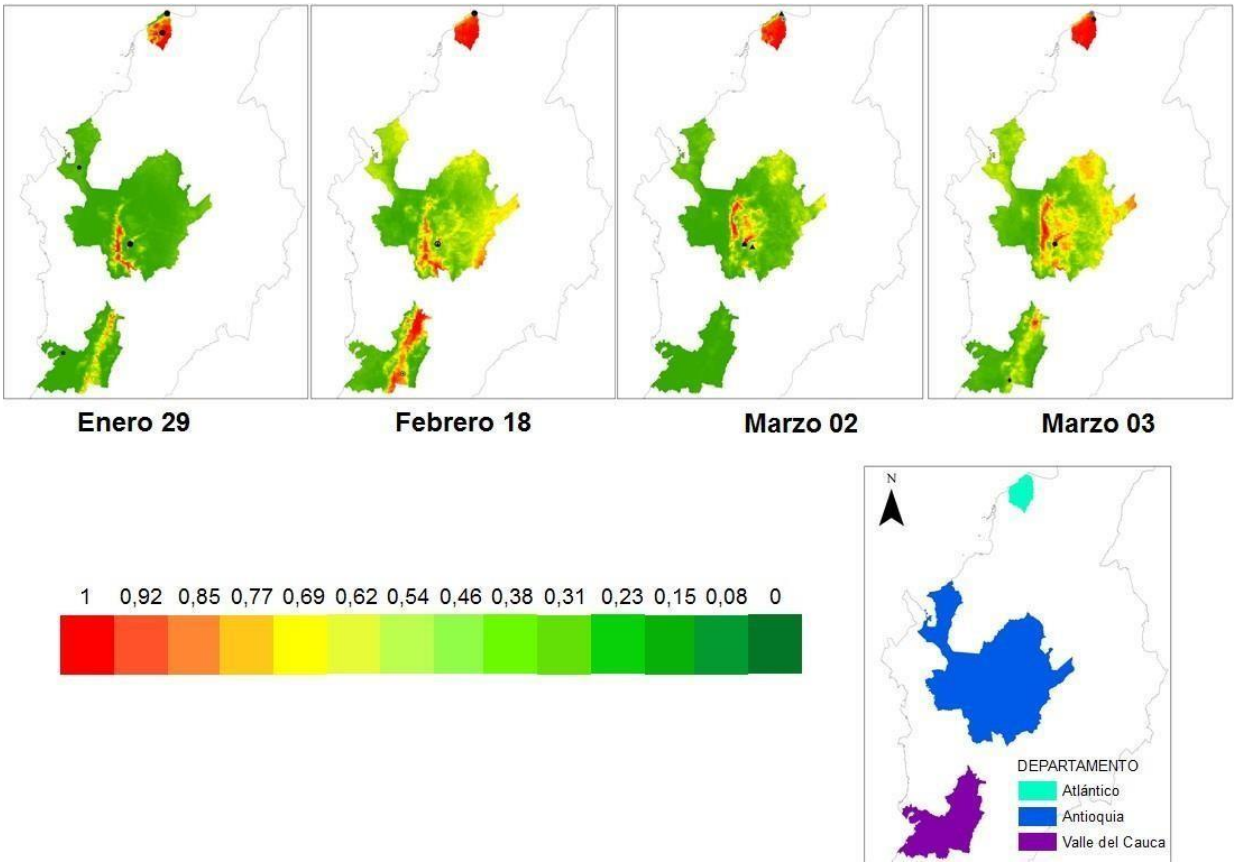
En Antioquia, se encontró que los modelos generados para enero, febrero y marzo de 2016 coincidieron en señalar que los municipios ubicados hacia el sur y parte central, principalmente la zona correspondiente al Valle de Aburrá y la que rodea al río Cauca de norte a sur, tuvieron una probabilidad >70 % de presentar casos de enfermedades asociadas a exposición al calor. En los modelos de febrero 18 y marzo 3, también se encontró que hacia el sector del Magdalena medio y en parte del bajo Cauca la probabilidad fue alta, aunque no tan alta (<70 %) como en la zona central (figura 4).

En Atlántico, los resultados fueron contundentes mostrando que en todas las fechas entre el 90 % y 100 % del territorio la probabilidad de presentar casos de enfermedades asociadas a exposición al calor es >80 % (figura 4).

Los modelos del Valle del Cauca en 2016 son muy similares a los de 2015, porque

indican que a lo largo de la zona de influencia del río Cauca, se encuentran las probabilidades más altas de todo el departamento (>70 %) de presentar enfermedades relacionadas con hipertermia; excepto en marzo 2, donde las probabilidades están por debajo del 3 % en todo el territorio (figura 4).

Figura 4. Modelos espaciales probabilísticos para el primer trimestre de 2016 en Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca

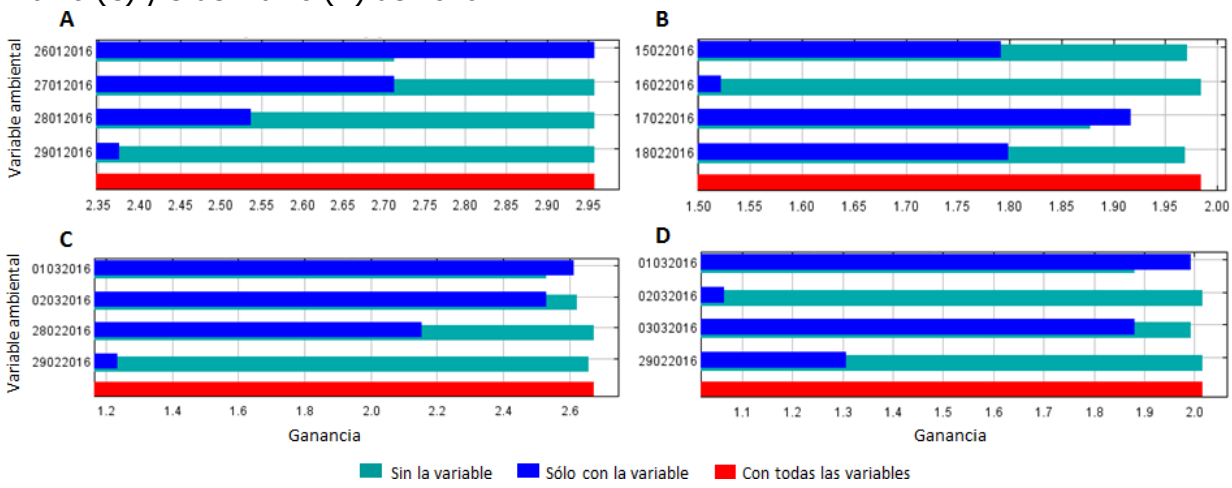


Fuente: INS 2020

Al analizar la contribución de las capas de temperatura superficial usadas en los modelos de 2016 para los tres departamentos, la prueba Jackknife y los valores de contribución relativa, indican que la temperatura superficial del 26 de enero contribuyó un 100 % al modelo obtenido a partir de los casos registrados en enero 29 (figura 5A). Por su parte, para el modelo del 18 de febrero de 2016, la temperatura que más aportó al modelo fue la del 17 de febrero (67,5 %), seguida por la del 18 (31,8 %) de febrero; la prueba Jackknife indicó que la temperatura del 15 de febrero también aportó al modelo; sin embargo, según los valores de contribución relativa, la contribución de la temperatura de este día estuvo por debajo del 1 % (figura 5 B). En cuanto al modelo de marzo 2, según los valores de contribución relativa, la temperatura

superficial del día primero de marzo fue la mayor (84,8 %); sin embargo, según la prueba Jackknife, la temperatura del 2 de marzo también aportó al modelo (figura 5 C). Por último, el modelo generado con los casos de enfermedades asociadas a exposición al calor del 3 de marzo tuvo mayor contribución por parte de la temperatura superficial de ese mismo día (3 de marzo= 61,5 %), seguida de la temperatura del 1 de marzo (38,5 %), aunque con la prueba Jackknife, la temperatura del primero de marzo fue la de mayor importancia para el modelo (figura 5 D).

Figura 5. Prueba Jackknife para los modelos del 29 de enero (A), 18 de febrero (B), 2 de marzo (C) y 3 de marzo (D) de 2016



Fuente: INS 2020

Discusión

Mediante los modelos espaciales generados por MAXENT fue posible identificar las zonas específicas de los departamentos que tuvieron una alta probabilidad (>70 %) de presentar casos de golpe de calor y enfermedades similares. En los tres departamentos, estas zonas fueron en su mayoría las mismas, en ambos años.

En Antioquia los sectores sur, oriental y central que presentaron mayor probabilidad de desarrollo de enfermedades en la mayoría de las fechas, así como los sectores norte y noroccidental en marzo, corresponden a zonas donde se concentra la mayor parte de la población, ya que allí se encuentran ciudades principales y centros poblados, como Medellín, Bello, Itagüí, Envigado, Apartadó, Turbo y Caucasia (>100 000 habitantes (16). Al igual que en Antioquia, los sectores del Valle del Cauca con mayor probabilidad de desarrollo de golpe de calor y otras enfermedades similares también corresponden a los más poblados del departamento. Este es el caso de Cali, Buenaventura, Palmira, Tuluá, Cartago, Yumbo, Jamundí y Guadalajara de Buga, ciudades donde hay más de 100 000 habitantes (16). El caso de Atlántico es

diferente, porque todo el departamento en la mayoría de las fechas (excepto enero 15 y febrero 18 de 2015) tuvo una probabilidad muy alta (>80 %) de presentar personas con golpe de calor y enfermedades similares.

Encontrar las zonas con mayor riesgo de desarrollo de golpe de calor y similares, justamente en las ciudades y centros poblados principales, puede tener dos causas: 1) Una mayor sensibilidad del sistema de vigilancia en las ciudades principales y 2) El efecto de isla térmica que ocurre en las ciudades. Estas situaciones no son mutuamente excluyentes, así que pueden presentarse de forma simultánea.

Debido a que en las ciudades principales de Colombia el sistema de vigilancia es más sólido que en las zonas rurales, porque cuenta con mayor presupuesto, red robusta de actores del sistema y equipo de profesionales en salud más grande y mejor capacitado, las notificaciones de atenciones en salud pueden ser más numerosas y precisas en la detección y posterior reporte de casos relacionados con golpe de calor y efectos del calor natural (no ocupacional). Frecuentemente, la sintomatología de estas enfermedades tiende a confundirse con la de otros eventos de interés en salud, por lo que es necesario tener profesionales bien capacitados para hacer una adecuada detección y notificación. De hecho, puede que los casos sean más numerosos en zonas que no corresponden a cabeceras municipales o grandes ciudades, e incluso en todo el país; sin embargo, tal como lo indican Mora, et al., (6) el sistema de reporte de morbilidad y mortalidad por hipertermia, golpe de calor y otras enfermedades relacionadas con el aumento de la temperatura ambiental, es deficiente en países tropicales, ya que tradicionalmente se ha considerado que las olas de calor solo ocurren con frecuencia y de forma extrema en países subtropicales o de zonas templadas (5).

Tener mayor número de atenciones relacionadas con los 21 códigos CIE-10 de interés, en las zonas urbanas, afecta directamente los modelos generados por MAXENT, porque el algoritmo que usa el programa para la modelación toma como base el número de muestras (número de atenciones en salud) y las capas geográficas de las condiciones ambientales suministradas (temperatura superficial por fecha) para identificar las condiciones propias de los lugares donde hay mayor número de muestras. Con esta información, el algoritmo identifica las zonas que tengan condiciones ambientales similares a las iniciales y predice dónde hay mayor probabilidad de encontrar más casos de interés. Así se deduce que es posible que los modelos hayan identificado otras zonas urbanas de los departamentos (con temperatura similar a la de las zonas iniciales) como lugares con alta probabilidad de presentar casos relacionados con golpe de calor y enfermedades relacionadas.

Ahora bien, las islas térmicas o de calor, se refieren al gradiente térmico que sucede entre los espacios urbanos

densamente poblados y la periferia rural (4, 17). La formación de este gradiente se asocia a una progresiva pérdida de cobertura vegetal que poco a poco va siendo reemplazada por superficies impermeables, como concreto, asfalto, ladrillo y otros materiales de construcción (5, 18) que alteran el balance hídrico y radiactivo superficial, e inducen al aumento de la temperatura del aire porque emiten gran cantidad de energía calórica (3). Estudios como el de ONU Hábitat (7) indican que, en las ciudades, la temperatura del aire puede ser de 2 a 5º C más alta que en el área periurbana durante el día y hasta 12º C más alta durante la noche.

Es así como la temperatura del aire en las ciudades de Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca pudo elevarse durante el periodo de estudio por el efecto de las islas térmicas y llevar a variaciones en la sensación térmica que experimentan los habitantes, desencadenando en ciertas ocasiones golpes de calor u otras enfermedades similares. Esto a su vez llevó a que los modelos de MAXENT clasificaran las zonas urbanas como con alta probabilidad de presencia de personas con las enfermedades de interés. Estudios en Brasil, Chile y México, coinciden en que en las ciudades la población es más vulnerable a los eventos de calor (19). En Colombia, particularmente en el Valle de Aburrá, Trujillo (18) comprobó que el fenómeno de isla de calor es representativo, ya que en las áreas urbanas la temperatura es mayor que en las zonas rurales (diferencia entre zona central y periurbana de 5,53° C a 8,18° C). En la capital de Colombia, Gómez y Castañeda (2) evidenciaron que la temperatura del aire ha aumentado debido a factores locales como, densidad poblacional, uso del suelo, contaminación y reducción de zonas verdes; además, estos autores afirman que las temperaturas más altas se localizan en las zonas industriales de Bogotá, donde el tráfico vehicular y el movimiento de la población es considerablemente alto.

No obstante, no hay que olvidar que hay unos fenómenos que no son controlables a nivel local y que pueden exacerbar los efectos de las islas térmicas: variaciones del clima propias de las zonas de estudio y fenómenos como El Niño. En Colombia, según Gómez y Castañeda (2) dentro de los escenarios del calentamiento global, las últimas décadas se han caracterizado por la tendencia al incremento de la temperatura promedio del aire, con registros máximos en años con incidencia del Niño-ENOS, tal como el 2015 y 2016; años en los que se desarrolló el presente estudio. La identificación de la mayor parte del territorio del Atlántico, como en alto riesgo de presentar casos de hipertermia y similares con el aumento de la temperatura ambiental, también está reflejando una condición natural propia de la región Caribe del país: altas temperaturas (en este estudio la temperatura superficial mínima y máxima del Atlántico fue de 31,9° C y 44,9° C). Por lo que este departamento debe ser priorizado en la vigilancia de eventos relacionados con exposición al calor natural.

Los porcentajes de contribución de la temperatura superficial a los modelos predictivos generados por fecha y para los tres departamentos, indican que la temperatura de hasta dos y tres días antes de la notificación de la atención en salud, fue la de mayor relevancia (>80 % de contribución) para la generación de golpe de calor y similares. La temperatura del 26 de enero de 2016 (tres días antes de las atenciones del 29 de enero) fue la única variable que alcanzó una contribución del 100 % al modelo. Los valores de la temperatura superficial tres días antes en los tres departamentos, justamente fueron los mayores (>25,9° C). La influencia de la temperatura, algunos días antes de presentarse el problema de salud, ha sido reportado por otros autores como Madrigano, et al., (20) y Conti, et al., (21), aunque haciendo referencia a mortalidad y no a morbilidad. Madrigano, et al., (20) encontraron que la temperatura extrema registrada dos días antes se asoció con un aumento en el riesgo de mortalidad por infarto del miocardio y Conti, et al., (21) encontraron que en diferentes ciudades italianas el rezago (tiempo entre la exposición a altas temperaturas y el efecto en salud) varía de 2 a 4 días.

Conclusiones

De acuerdo a los modelos obtenidos, es evidente que la vigilancia de eventos relacionados con hipertermia, golpe de calor y otras enfermedades similares relacionadas con exposición al calor natural ambiental debe ser intensificada en las zonas del país que naturalmente tienden a presentar condiciones ambientales que favorecen la ocurrencia de olas de calor, tal como en Atlántico, donde la temperatura superficial supera los 31,9° C.

Aunque en este estudio no se haya incluido la humedad relativa del aire, esta es otra variable ambiental que determina la ocurrencia de las enfermedades de interés. Asimismo, las zonas urbanas densamente pobladas donde se concentran actividades comerciales e industriales y se emiten altas concentraciones de gases contaminantes a la atmósfera como el CO2, que favorecen el calentamiento global, también deben ser priorizadas para llevar a cabo la vigilancia epidemiológica.

Los modelos geográficos generados pueden ser más robustos en la medida que se tengan datos más consistentes y permanentes a nivel ambiental y de salud. Para este estudio se deseaba incluir datos de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad de vientos y confort térmico; sin embargo, no se encontró cartografía disponible para ninguno de estos datos. El IDEAM cuenta con registros de temperatura y humedad del aire, pero desafortunadamente, esta no siempre está disponible para todas las fechas, ni tiene la cobertura espacial adecuada para llevar a cabo la modelación geográfica, ya que no es suficiente contar con información de un único municipio para todo un departamento o región. Otra limitación corresponde a la cantidad de datos disponibles en los sistemas que

centralizan la información sobre casos de las enfermedades de interés, pues el algoritmo que genera las predicciones aumenta su precisión a medida que aumenta la cantidad de muestras, en este caso atenciones en salud.

Desde esta perspectiva no es adecuado generar modelos predictivos si se cuenta con menos de 10 muestras para determinado lugar de interés. Si estas muestras, además, no tienen vinculada información geográfica sobre su ubicación (longitud y latitud), tampoco pueden ser usadas para generar modelos espaciales. Para futuros estudios sobre el tema de olas de calor y su efecto en la salud humana, se recomienda llevar a cabo análisis sobre la población más vulnerable según edad, características socioeconómicas y predisposiciones de salud, tal como enfermedades cardiovasculares o respiratorias.

Estos análisis permitirán ampliar la información que hasta el momento se tiene sobre los riesgos que implica el calentamiento global para la salud de los colombianos.

Agradecimientos

A profesionales del INS: Sandra Misnaza y Víctor Martínez del Grupo de Enfermedades Crónicas, a Luis Carlos Gómez y Natalia Muñoz del Grupo de Factores de Riesgo Ambiental, a Catalina Arias de Sivigila.

A los seis médicos que ayudaron a la selección de las enfermedades que finalmente se incluyeron en el estudio, al IDEAM y su grupo de profesionales en meteorología, pronósticos y alertas.

Referencias

1. Banco Mundial. Bajemos la temperatura porque se debe evitar un planeta 4° C más cálido. Washington (DC): Banco Inter - nacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial; 2012.

2. Gómez LV, Castañeda CC. Estudio del crecimiento urbano con respecto al efecto isla de calor para establecer lineamien- tos de gestión energético ambiental en Bogotá. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engi- neering and Technology (LACCEI'2013) "Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity"; 2013 August 14-16; Cancun, Mexico. Cancun: LACCEI; 2013.

3. Chen XL, Zhao MZ, Li PX, Yin ZY. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote Sens Environ. 2006; 104: 133-146.

4. Córdova K. Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. Revista Terra. 2011; 27: 95-122.

5. Díaz RE, Castro AL, Aranda P. Mortalidad por calor natural excesivo en el noroeste de México: Condicionantes sociales asociados a esta causa de muerte. Frontera norte 2014; 26(52): 155-177.

6. Mora C, Dousset B, Caldwell IR, Powell FE, Geronimo RC, Bielecki CR, et. al. Global risk of deadly heat. Nature climate change. 2017 jun. 19; 7: 501-506.

7. Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONUHábitat). Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas. Informe Mundial Sobre Asentamientos Humanos. Río de Janeiro: Acert; 2011.

8. Perkins-Kirkpatrick SE, Gibson PB. Change in regional heatwave characteristics as a function of increasing global tempe- rature. Scientific Reports 2017; 7: 1-12.

9. Ou CQ, Song YF, Yang J, Chau PY, Yang L, Chen PY, Wong CM. Excess winter mortality and cold temperatures in a subtro - pical city, Guangzhou, China. PLoS One. 2013 oct. 8; 8(10): 1-10.

10. Lin S, Luo M, Walker RJ, Liu X, Hwang SA, Chinery R. Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. Epidemiology. 2009 sept.; 20(5): 738-46.

11. Yang C, Meng X, Chen R, Cai J, Zhao Z, Wan Y, et. al. Long-term variations in the association between ambient temperatu- re and daily cardiovascular mortality in Shanghai, China. Sci Total Environ. 2015 dic. 15; 538: 524-30.

12. Cuartas DE, Méndez F. Cambio climático y salud: retos para Colombia Revista de la Universidad Industrial de Santander. 2016; 48(4): 428-435.

13. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Impacto del Fenómeno "El Niño" 2015-2016 en los neva- dos y alta montaña en Colombia. Bogotá; 2016.

14. Guillera-Arriota G, Lahoz-Monfort J, Elith J. Maxent is not a presence – absence method : a comment on Thibaud et al. Methods in Ecology and Evolution. 2014; 5: 1192-1197.

15. Smith MJ, Goodchild MF, Longley PA. Geospatial analysis, a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Leicester: Winchelsea Press;2007.

16. Proyecciones de población, proyecciones municipales 2005-2020 [Internet]. Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. c2008 - [citado 2018 Nov 1]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls.

17. Roth M, Oke TR. Satellite derived urban heat islands from three coastal cities, and the utilization of such data in urban climatology. Int J Remote Sens. 1989; 10(11): 1699-1720.

18. Trujillo S. Estimación de temperatura superficial en el Valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota [Tesis en Ingeniería Ambiental]. Envigado: Antioquia; 2012.

19. Bell ML, O'Neill MS, Ranjit N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA, Gouveia NC. Vulnerability to heart related mortality in Latin America: a case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. Int. J. Epidemiol 2008 May 29;37(4): 796-804.

20. Madrigano J, Mittleman MA, Baccarelli A, Goldberg R, Melly S, von Klot S, Schwartz J. Temperature, myocardial infarction, and mortality: effect modification by individual- and area-level characteristics. Epidemiology. 2013; 24(3): 439-46.

21. Conti S, Meli P, Minelli G, Solimini R, Toccaceli V, Vichi M, et al. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. Environ Res. 2005; 98: 390-9.