

Proyecciones de la temperatura máxima en el aeropuerto José Martí de Cuba y su impacto en el despegue de las aeronaves

Marilee Martínez Álvarez y Ramón Pérez Suárez

Instituto de Meteorología. Loma Casablanca, Cuba
<marilee.martinez@insmet.cu> <ramon.perez@insmet.cu>

(Recibido: 19-Mar-2019. Publicado: 03-Jun-2019)

Resumen

El incremento de las temperaturas es una de las consecuencias probadas del cambio climático a nivel global y se espera que continúen en ascenso en las próximas décadas. Existen estudios científicos que corroboran esta realidad para Cuba. La temperatura es una de las variables meteorológicas que influyen en las operaciones habituales del tránsito aéreo, por tanto, su incremento, tiene una influencia en las operaciones habituales del mismo. Sobre este tema, a pesar de su importancia, prácticamente no se ha investigado. El objetivo general de esta investigación es identificar el actual y futuro incremento de las temperaturas en el aeropuerto José Martí. Empleando las series de temperatura máxima media y máxima absoluta de Santiago de las Vegas, se determinaron las tendencias de ambas variables y se calcularon los incrementos aproximados de estas hasta el 2017. Con el análisis de los escenarios futuros, se determinaron los posibles incrementos de estas variables y se calcularon los rangos de temperatura máxima media y máxima absoluta, por periodos, hasta el 2080. Se concluyó que las temperaturas máximas se están incrementando en la actualidad y que este incremento continuará en el futuro. En base a estos resultados, y comparando con un estudio previamente realizado por Coffel y Horton, sobre el Boeing 737 800, se determinó, que esta aeronave u otras similares, no deberán confrontar significativas dificultades al despegar en el futuro en el aeropuerto José Martí.

Palabras clave: incremento de la temperatura, temperatura, despegue de las aeronaves, futuro.

Future increment of temperatures in José Martí airport (Cuba)

Abstract

Temperature rise is one of the proven consequences of the climate change all over the world, and it will probably increase even more during the next decades. There are scientific studies that corroborate this reality for Cuba. Temperature is one of the meteorological variables that have influenced on the regular air traffic operations, thus, the rise of temperature has a significant influence on the regular air traffic operations. Although the importance of this topic, it has poorly been researched. The main objective of this research is to analyze the present and future rise of temperature at José Martí International Airport. We have recorded the average maximum and the absolute maximum temperatures in Santiago de las Vegas. Both variables trends have been recorded and the rough temperature rises until 2017 were calculated. When the future prospects were analyzed, the possible rises of those meteorological variables were determined and the levels of the average maximum and the absolute maximum temperatures were calculated, by periods, until 2080. We have reached the conclusion that maximum temperatures rise at present and this tendency will go on in the future. Taking these results as a starting point and comparing them with the previous Coffel and Horton's research about the Boeing 737 800, it has been determined that this particular aircraft and others which are similar to it, are able to take off at José Martí International Airport with no significant difficulties.

Key words: temperature rise, temperature, aircraft takeoff, future.

1. Introducción

El incremento de las temperaturas es una de las consecuencias probadas del cambio climático a nivel global y se espera que continúen en ascenso en las próximas décadas. En Cuba existen estudios que prueban que el incremento paulatino de las temperaturas y el aumento en la frecuencia e intensidad de temperaturas extremas cálidas, producto al cambio climático, constituyen una realidad para el país (Guevara, 2007; Burgos y González, 2012; Pérez, 2013; Centella y Bezanilla, 2013).

La influencia de la aviación en el cambio climático ha sido estudiada, cuantificada y reducida en la medida de lo posible hasta la actualidad; sin embargo, solo unos pocos estudios han investigado los efectos del cambio climático en la aviación (Coffel y Horton, 2014; Coffel *et al.*, 2017).

Siendo la temperatura, una de las variables meteorológicas que influyen en el transporte aéreo, específicamente en el despegue de las aeronaves, es lógico esperar impactos en las operaciones habituales del mismo debido a su incremento. Esto se explica a partir de que la temperatura posee una relación inversamente proporcional con la densidad del aire, que "... es quizá el factor simple más importante que afecta al rendimiento del avión ..." (Muñoz, 2010), debido a que se relaciona de manera directa con la sustentación de la aeronave, la resistencia de la misma, el rendimiento del motor y la eficiencia de la hélice.

La sustentación es una de las cuatro fuerzas más importantes que actúan sobre un aeroplano en vuelo, las cuales se encuentran representadas en la figura 1.



Fig. 1: Fuerzas que actúan sobre un aeroplano en vuelo (Muñoz, 2010).

El peso es la fuerza que se contrapone a la sustentación, por tanto, para que el avión pueda despegar, es necesario que la sustentación sea mayor que el peso; como la tracción mayor que la resistencia. De ahí que, el aumento de la temperatura, que conlleva a la disminución de la densidad, y por tanto, de la sustentación, implica la necesaria reducción del peso de la aeronave.

El clima está cambiando, y la navegación aérea es uno de los sectores que deberá adaptarse a estos cambios, pues es vulnerable a ellos. Dado esto y el hecho de que según la revisión bibliográfica realizada no consta en Cuba ningún estudio sobre el tema, se considera válido investigar sobre el actual y el futuro incremento de las temperaturas en el aeropuerto José Martí.

2. Metodología

La región de estudio seleccionada fue el Aeropuerto Internacional José Martí, localizado al suroeste de la provincia de La Habana, a unos 13 kilómetros de la costa norte, en el municipio de Boyeros, entre los 22°59'21" de latitud Norte y los 82°24'33" de longitud Oeste.

Esta instalación constituye el aeropuerto principal de vuelos internacionales y domésticos de Cuba y sirve a un gran número de pasajeros cada año; razón por la cual fue seleccionado para llevar a cabo el

primer estudio de este tipo en el país. Se encuentra aproximadamente a 64 m sobre el nivel medio del mar y posee una única pista de 4 km de longitud.

Para llevar a cabo el estudio se emplearon las series de temperatura máxima media y máxima absoluta mensual y anual de la estación meteorológica de Santiago de las Vegas en el período 1971-2017, disponibles en el archivo del Centro del Clima del Instituto de Meteorología, tras comprobar que existe una alta correlación entre los datos de Santiago de las Vegas y los del aeropuerto José Martí.

Para analizar el comportamiento de las temperaturas máximas en el futuro en el aeropuerto José Martí se emplearon los datos de la salida del Modelo Climático Regional (MCR) PRECIS, en un punto de rejilla que constituye el más próximo a la latitud y longitud específica del aeropuerto José Martí. Estos datos fueron proporcionados por el Centro de Física de la Atmósfera del Instituto de Meteorología. Se emplearon como condiciones de contorno, las provenientes del Modelo Climático Global (MCG) ECHAM5, además de las de 6 de los 16 miembros del conjunto de física perturbada del MCG HadCM3; todos estos casos fueron combinados con el escenario de emisiones SRES A1B, que es considerado como un perfil moderado dentro de los SRES. También se emplearon las condiciones de contorno del MCG HadGEM-ES, en este caso variando los escenarios de emisiones, empleando el RCP2.6, RCP4.5 y RCP8.5, que son escenarios de bajas, medias y altas emisiones respectivamente. De esta manera se eliminan, en la medida de lo posible, las incertidumbres tanto de modelación como de escenarios de emisiones.

La salida de estos modelos proporciona datos diarios de la temperatura máxima en el período comprendido entre 1961 y el futuro 2098, con los cuales se elaboraron tablas de temperatura máxima media y máxima absoluta mensual y anual para cada una de las variantes. La línea base se define como un período de tiempo transcurrido en el pasado representativo de las características del comportamiento de la variable. Para el caso de los 7 primeros modelos se seleccionó como línea base el período 1971-2000, los RCP poseen una línea base común y predeterminada que abarca los años 1980-2004.

A pesar de la buena aproximación de los modelos a la realidad, se determinaron diferencias entre los valores anuales de la temperatura máxima media y máxima absoluta, del período 1971-2017, de los datos reales de la estación meteorológica de Santiago de las Vegas y los arrojados por los modelos para ese período. Dichas diferencias alcanzaron valores de hasta 2.9 °C para la temperatura máxima media y 6.6 °C para la máxima absoluta. Se hallaron entonces las diferencias entre la línea base de la estación y la de cada uno de los modelos, tanto para la temperatura máxima media como para la máxima absoluta y estas diferencias fueron sumadas o restadas de cada uno de los valores del modelo según correspondía, corrigiendo de esta manera los datos del modelo y haciéndolos más próximos a la realidad.

Por otra parte, el futuro fue dividido en 3 períodos de tiempo denominados año 2030, 2050 y 2070, que en realidad abarcan los períodos 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080 respectivamente, igualando el procedimiento al acordado en la Tercera Comunicación sobre Cambio Climático. Las diferencias entre el futuro en cada período y la línea base, constituyen el posible incremento de la temperatura máxima tanto media como absoluta en cada uno de estos períodos. Estos posibles incrementos fueron calculados y tabulados mensual y anualmente empleando la línea base del modelo primeramente y posteriormente la de la estación, obteniendo resultados similares. Se decidió trabajar con los incrementos calculados a partir de la línea base del modelo.

3. Resultados y discusión

El análisis de los resultados arrojó que tanto la temperatura máxima media anual (figura 2) como máxima absoluta anual (figura 3) de Santiago de las Vegas en el período 1971-2017, presenta variaciones interanuales en su comportamiento y una tendencia creciente estadísticamente significativa, con un incremento de 0.8 °C de la primera y 0.7 °C de la segunda, en el período analizado.

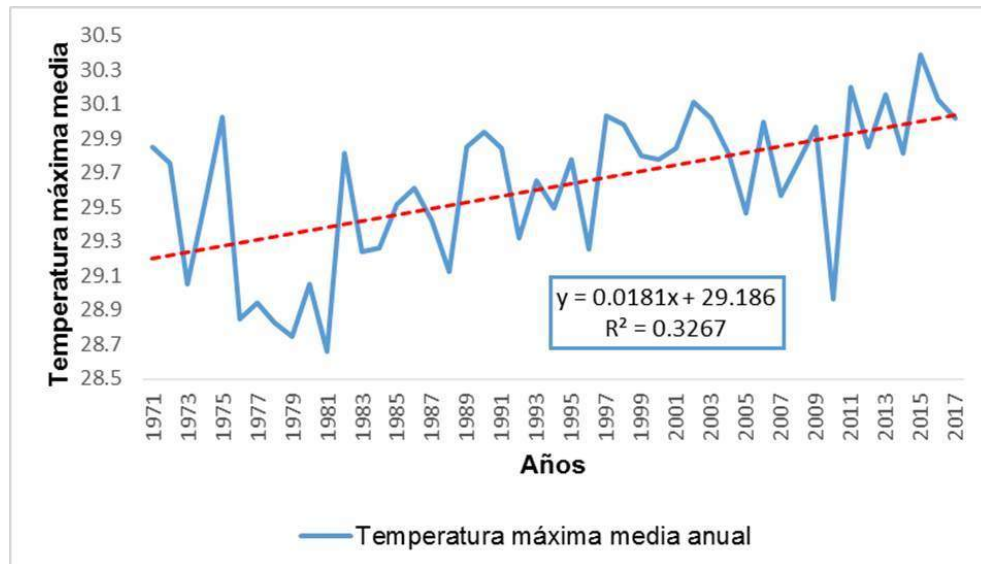


Fig. 2: Tendencia de la temperatura máxima media en Santiago de las Vegas.

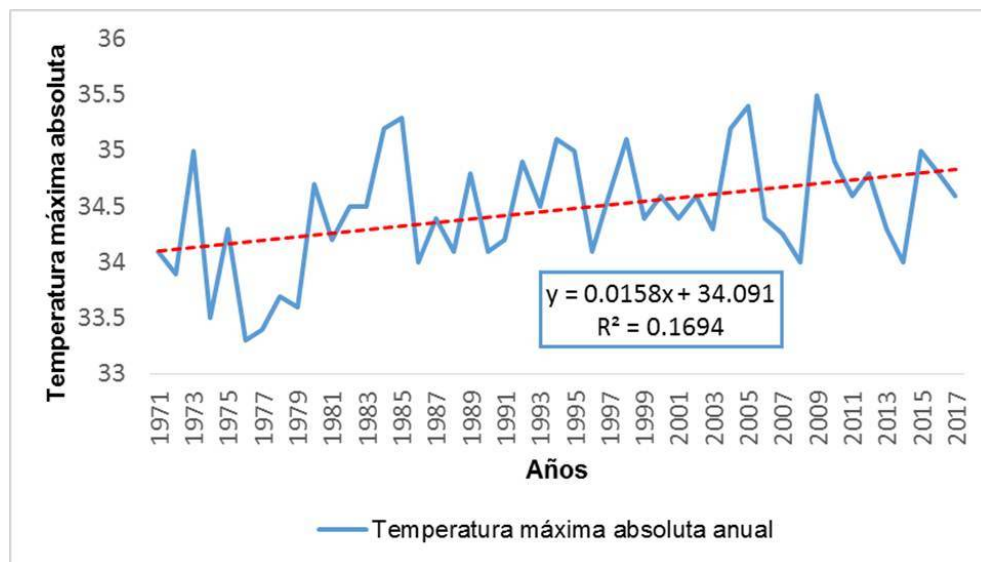


Fig. 3: Tendencia de la temperatura máxima absoluta en Santiago de las Vegas.

El análisis de los escenarios futuros se llevó a cabo por modelos, pero finalmente se calculó un incremento medio teniendo en cuenta los 10 modelos analizados y además se tomaron intervalos de valores extremos, es decir, el menor y el mayor valor de incremento esperados por estos 10 modelos. Este análisis se llevó a cabo mensual y anualmente.

De manera general, la tabla 1 muestra un resumen de los incrementos esperados para la temperatura máxima media anual, máxima media de agosto, por ser el mes más cálido en la actualidad y para el futuro y máxima absoluta anual en los 3 períodos analizados, según la media y los valores extremos de los 10 modelos tenidos en cuenta, donde se evidencia el incremento de ambas variables con el tiempo. Posteriormente en la tabla 2, se recogen los valores futuros de temperaturas máxima media anual y del mes de agosto y máxima absoluta anual, en los tres períodos analizados, que constituyen el resultado de adicionar los incrementos de la tabla 1 al valor medio anual y del mes de agosto de la temperatura máxima media en Santiago de las Vegas hasta 2017, que son de 29.6 °C y 32.5 °C respectivamente y al valor máximo absoluto reportado en Santiago de las Vegas hasta la actualidad, que es de 35.5 °C.

Tabla 1: Incrementos futuros de las temperaturas máxima media anual y de agosto y máxima absoluta anual.

Períodos	Inc. T máxima media anual (°C)	Inc. T máxima media agosto (°C)	Inc. T máxima absoluta anual (°C)
2030	0,77 - 1,10 - 1,43	0,75 - 1,14 - 1,44	0,07 - 0,92 - 1,61
2050	1,31 - 1,59 - 2,15	1,02 - 1,48 - 2,09	0,10 - 1,35 - 2,63
2070	1,53 - 2,07 - 3,04	1,29 - 1,87 - 2,99	0,68 - 1,73 - 3,82

Tabla 2: Temperaturas máxima media anual y de agosto y máxima absoluta anual futuras.

Períodos	T máxima media anual (°C)	T máxima media agosto (°C)	T máxima absoluta anual (°C)
2030	30,4 - 30,7 - 31,0	33,3 - 33,6 - 33,9	35,6 - 36,4 - 37,1
2050	30,9 - 31,2 - 31,8	33,5 - 34,0 - 34,6	35,6 - 36,9 - 38,1
2070	31,1 - 31,7 - 32,6	33,8 - 34,4 - 35,5	36,2 - 37,2 - 39,3

La figura 4 muestra el comportamiento mensual de la temperatura máxima media para el futuro. Cada línea, representativa de cada mes, parte del valor de temperatura máxima media de la estación meteorológica de Santiago de las Vegas hasta el 2017, y proyecta la temperatura máxima media, esperada por el promedio de los 10 modelos tenidos en cuenta, para el futuro en cada uno de los períodos analizados.

A partir de esta puede decirse que el período para el cual se esperan las temperaturas máximas medias más elevadas en el futuro, es el que comprende los meses de junio a septiembre y que el mes de agosto, que es el más cálido actualmente, lo continuará siendo en el futuro.

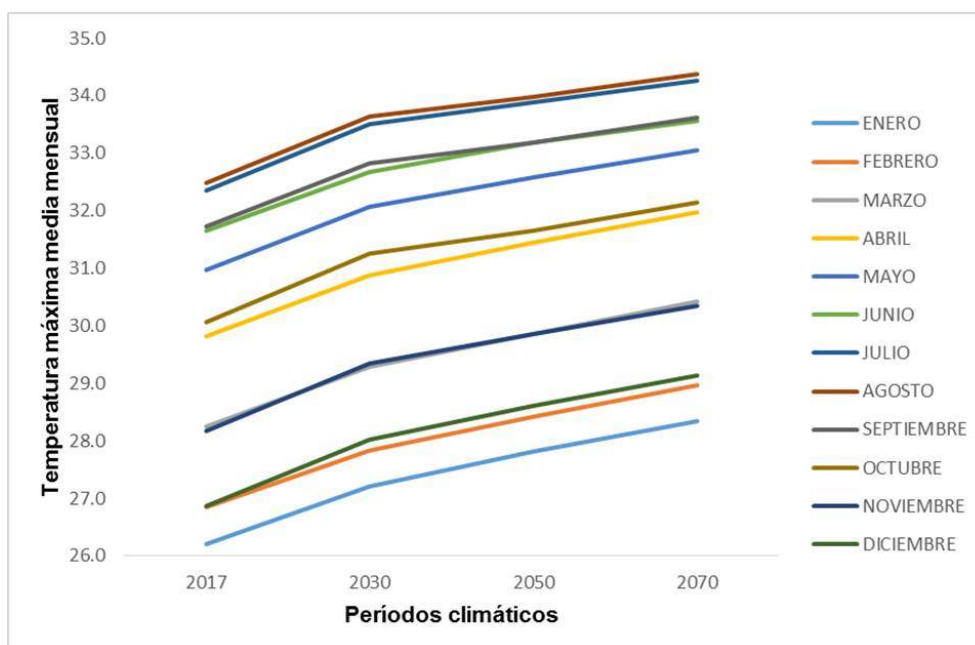


Fig. 4: Temperaturas máximas medias mensuales futuras según la media de los 10 modelos.

La figura 5 se corresponde con el comportamiento de la temperatura máxima media futura anual, representada por cada uno de los 10 modelos tenidos en cuenta. Todas las líneas parten del mismo punto, que

se corresponde con el valor de temperatura máxima media anual de la estación meteorológica de Santiago de las Vegas hasta el año 2017, posteriormente estas líneas se separan unas de otras, lo cual tiene que ver con las incertidumbres que existen entre cada uno de los modelos.

Podemos observar, como las temperaturas máximas medias anuales proyectadas para el futuro por el escenario de emisiones RCP8.5, son las más altas esperadas.

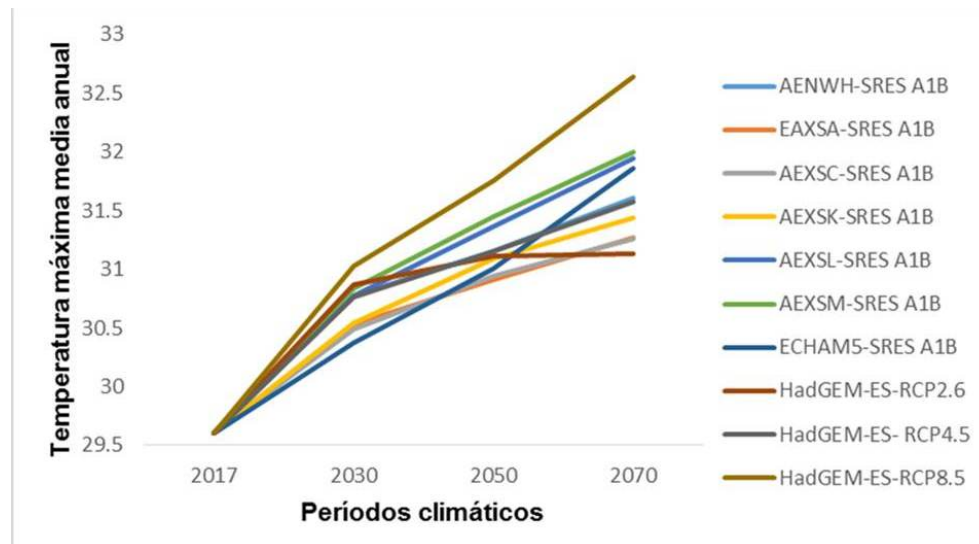


Fig. 5: Temperatura máxima media futura anual representada por cada uno de los 10 modelos tenidos en cuenta con sus respectivos escenarios.

La figura 6 constituye un gráfico similar al anterior, pero en este caso se proyecta la temperatura máxima media futura para el mes de agosto, por ser el mes más cálido y continuar siéndolo para el futuro, según los resultados de esta investigación. Las líneas parten de 32.5 °C, que es el valor de la temperatura máxima media en ese mes en la estación meteorológica de Santiago de las Vegas hasta el 2017.

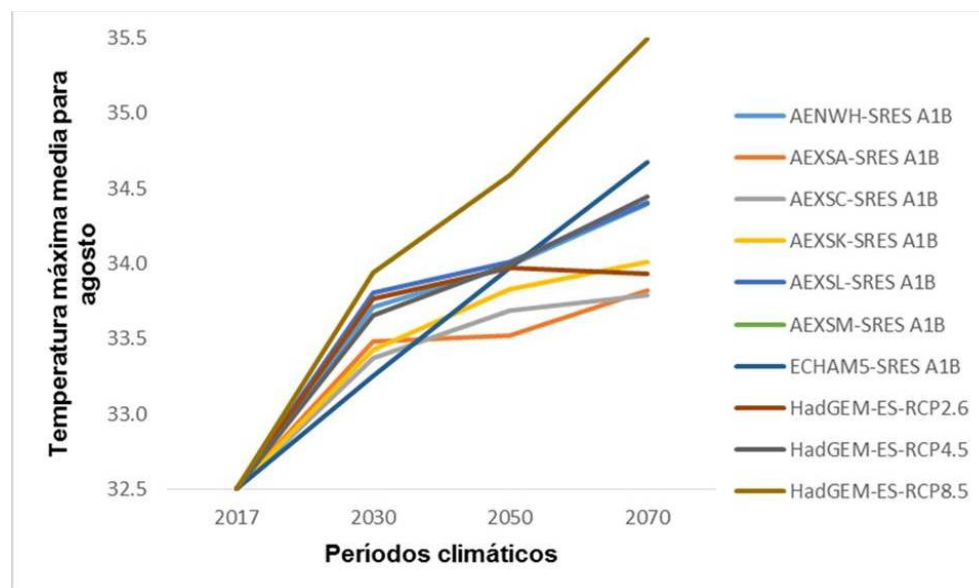


Fig. 6: Temperatura máxima media futura para el mes de agosto representada por cada uno de los 10 modelos tenidos en cuenta con sus respectivos escenarios.

En este gráfico también podemos apreciar las incertidumbres que existen entre los modelos tenidos en cuenta y como en este caso también, el que más se separa del resto y proyecta las temperaturas futuras más elevadas es el escenario de emisiones RCP 8.5. Esto está directamente relacionado con que este constituye un escenario de altas emisiones y además el peor escenario tenido en cuenta en el estudio.

Coffel y Horton en 2014 analizaron las características del Boeing 737 800, teniendo en cuenta cuatro aeropuertos con diferentes longitudes de la pista y alturas sobre el nivel del mar. Calcularon previamente los valores de umbral de temperatura para los cuales en cada aeropuerto se realizarían diferentes niveles de restricción del peso del Boeing 737 800 al despegar. Estos cálculos ilustraron que los aeropuertos de menor longitud de la pista y mayor altura sobre el nivel del mar confrontan dificultades con las temperaturas elevadas lo que implica una mayor frecuencia de las restricciones del peso de dicha aeronave.

Al comparar los resultados obtenidos en cuanto al incremento de la temperatura máxima antes descritos y las características del aeropuerto José Martí con los resultados expuestos por Coffel y Horton, puede decirse que el mayor valor de temperatura máxima absoluta alcanzado en el aeropuerto José Martí, para el último período analizado y teniendo en cuenta el escenario más crítico previsto, que es de 39.3 °C, es superior al umbral de temperatura que según Coffel y Horton, restringen el peso en 1000 lb en el aeropuerto de PHX y en 10000 lb y 15000 lb en DEN, LGA y DCA. Sin embargo, las pistas de LGA y DCA son muy inferiores con respecto a la del aeropuerto José Martí y las elevaciones de DEN y PHX son muy superiores con respecto también a la del aeropuerto José Martí. Los umbrales de temperatura que restringen el peso en 10000 lb y 15000 lb en PHX no llegarán a alcanzarse en el aeropuerto José Martí según los escenarios previstos en este estudio.

De modo que, el Boeing 737 800 o aeronaves similares a esta no deben tener significativas dificultades al despegar en el aeropuerto José Martí en el futuro, en relación con dicha temperatura. Ello es debido no solo a los incrementos de la temperatura previstos, sino al largo de la pista y a la altura sobre el nivel del mar en que se encuentra dicho aeropuerto.

4. Conclusiones

Se logró cumplir con el objetivo general de esta investigación al determinar las características y las tendencias observadas y previstas para el futuro de la temperatura máxima media y la temperatura máxima absoluta en el aeropuerto José Martí. Los resultados indican que la temperatura máxima se ha estado incrementando en el presente y los escenarios futuros prevén la continuación de dicho incremento. Así:

Se comprobó la existencia de tendencias crecientes estadísticamente significativas en los valores de temperatura máxima media y máxima absoluta anual, durante el período 1971-2017, con un incremento estimado de 0.8 °C de la primera y de 0.7 °C de la segunda.

Se obtuvieron escenarios futuros de la temperatura máxima media anual, para la que se estiman incrementos de 0.77 °C a 1.43 °C para el año 2030; de 1.31 °C a 2.15 °C para el 2050 y de 1.53 °C a 3.04 °C para el 2070.

Se obtuvieron escenarios futuros de la temperatura máxima absoluta anual, para la que se estiman incrementos de 0.07 °C a 1.61 °C para el año 2030; de 0.10 °C a 2.63 °C para el 2050 y de 0.68 °C a 3.82 °C para el 2070.

El mayor valor de temperatura máxima absoluta esperado para el último período analizado, teniendo en cuenta el peor escenario previsto es de 39.3 °C.

Los incrementos previstos por los escenarios para la temperatura máxima media mensual en los meses más cálidos del año en Cuba resultan significativos, en particular en junio, julio y agosto. En el caso de agosto, el de temperaturas más elevadas, se estiman valores entre 33.3 °C-33.9 °C para el 2030; 33.5 °C-34.6 °C para el 2050 y 33.8 °C-35.5 °C para el 2070.

Al tener en cuenta los resultados alcanzados por Coffel y Horton puede expresarse que el Boeing 737 800 o aeronaves similares a esta no deben tener significativas dificultades al despegar en el aeropuerto José Martí en el futuro, en relación con los cambios observados y previstos de la temperatura máxima. Sin embargo será necesario profundizar en el impacto que el incremento futuro de las temperaturas máximas, según indican los escenarios climáticos anteriormente descritos, pudiera tener sobre el despegue de las aeronaves en Cuba. El análisis de ese posible impacto tiene que realizarse por cada tipo de aeronave y en cada aeropuerto del país. También deberán preverse las principales medidas de adaptación en los casos que se requiera.

5. Agradecimientos

Se agradece al MsC Arnoldo Bezanilla y al MsC Carlos Manuel Góngora por su colaboración en esta investigación, al facilitar datos y aportar criterios de gran utilidad. También a la Lic. Dunia Hernández por sus opiniones.

6. Bibliografía

Burgos Y, González I (2012): Análisis de indicadores de extremos climáticos en la isla de Cuba. *Rev. Climatol.*, 12:81:91.

Centella A, Bezanilla A (2013): Escenarios climáticos. In: *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba* (Planos E, Ed.), AMA, pp. 99-115.

Coffel E, Horton R (2014): Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation. *Rev. Weather Clim. Soc.*, 7:94-102.

Coffel E, Thompson T, Horton R (2017): The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. *Rev. Climatic Change*, 144:381-388.

Guevara AV (2007): Las condiciones de calor intenso (CCI) como indicador de extremos bioclimáticos en La Habana, Cuba. *Rev. Territorium* 16:37- 48.

Muñoz MA (2010): Manual de Vuelo. <http://www.manualvuelo.com/ZIPS/Manual%20de%20vuelo.pdf>.

Pérez R (2013): Variaciones y Cambios en el Clima. In: *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba* (Planos E, Ed.), AMA, pp. 43-92.