

Comparación entre sondeos calculado y real de la atmósfera en la provincia de Camagüey, Cuba

Comparison between calculated and actual soundings of the atmosphere in the Province of Camagüey, Cuba



<http://opn.to/a/AH1Ly>

Dayan Arturo Nieves-Pérez^{1*}, Ismael Pomares-Ponce¹, Omar Rodríguez-López¹

¹Centro Meteorológico Provincial, Camagüey, Cuba

RESUMEN: Se estableció una comparación con datos de los Archivos del Laboratorio de Recursos del Aire (ARL, siglas en inglés), de los sondeos calculado a través del modelo: Sistema Global de asimilación de datos (GDAS, siglas en inglés), con datos de sondeos reales de la atmósfera en la provincia de Camagüey, por la estación SR2K2. Para ellos se emplearon métodos estadísticos descriptivos e inferenciales. En el trabajo se evaluó la pertenencia a una misma muestra de las series de datos del periodo lluvioso y poco lluvioso de los años 2013-2014, se hizo la interpretación y valoración comparativa de las series estudiadas, calculados versus reales. Los resultados indican que los sondeos calculados son representativos en el área de estudio y pueden ser utilizados para el trabajo operativo e investigaciones futuras ya que resultan de gran aplicabilidad pues son fáciles de obtener para cualquier región, cuando no se disponga de información del sondeo real en el departamento de física de la atmósfera para los pronósticos especializados.

Palabras clave: sondeos Calculados, sondeos reales de la atmósfera.

ABSTRACT: A comparison was made with data from the Air Resources Laboratory Archives (ARL), of the probes calculated through the model: Global Data Assimilation System (GDAS), with data from soundings of the atmosphere in the province of Camagüey, by the station (SR2K2). For them, descriptive and inferential statistical methods were used. In the work the belonging to the same sample of the data series of the rainy and less rainy period of the years 2013-2014 was evaluated, the interpretation and comparative evaluation of the series studied, calculated versus real, was made. The results indicate that the calculated probes are representative in the study area and can be used for the operative work and future investigations since they are of great applicability because they are easy to obtain for any region, when information of the real survey is not available. The physics department of the atmosphere for specialized forecasts.

Keywords: Calculated sounding, real soundings of the atmosphere.

*Autor para correspondencia: Dayan Arturo Nieves-Pérez. E-mail: dayan@cmw.insmet.cu

Recibido: 09/07/2018

Aceptado: 02/10/2018

INTRODUCCIÓN

En el inicio de los trabajos relacionados con el Incremento Artificial de la Lluvia por siembra de nubes en Camagüey, en el 2005, se hizo necesario el empleo de diversas técnicas para el monitoreo de la atmósfera, con el fin de obtener pronósticos certeros acerca del comienzo del desarrollo convectivo. Una de las técnicas empleadas lo constituye el sondeo de la atmósfera mediante el empleo de radiosondas. Para ello se utilizaron radiosondas M2K2, (MODEM, 2004) con sistema de localización por GPS (Sistemas de sondeo SR2K2).

La sonda M2K2 cumple los requerimientos tanto técnicos como meteorológicos, según los resultados de la Intercomparación Internacional de Sistemas de Aire Superior (WMO, 2004), realizada en Ginebra (Suiza) del 17 al 20 de marzo 2004. Además, Rivero *et al.*, 2005, realizaron una valoración preliminar del comportamiento del sistema de sondeos SR2-K2, las observaciones se analizaron y compararon con observaciones de aire superior realizadas en Camagüey con el sistema de radiosondeo de la antigua URSS, Meteorit-2 y con sondeos realizados en el área del Caribe. Se llegó a la conclusión de que el comportamiento de los perfiles verticales de temperatura, humedad, punto de rocío, dirección y velocidad del viento de las observaciones obtenidas con el sistema de radiosondeo seleccionado es consistente con los datos históricos obtenidos con la Meteorit-2 en el periodo 1981-1991. Además, se pudo observar que existe correspondencia entre el comportamiento de las diferentes variables meteorológicas medidas con el sistema SR2-K2 y el resto de las observaciones de aire superior del área del Caribe para las diferentes situaciones sinópticas imperantes durante el periodo de observación, a partir del análisis de los mapas de aire superior.

Por otra parte, en el Laboratorio de Recursos del Aire (ARL, por sus siglas en inglés) es posible obtener los sondeos para puntos específicos del globo, a partir del Modelo de Asimilación de Datos Globales (GDAS), localizable en el sitio web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). El modelo es el resultado de una serie de análisis y

pronósticos informáticos operacionales que se ejecutan en el Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés) del Servicio Nacional de Meteorología de EU. Esta fuente de información es utilizada operacionalmente durante las campañas de lluvia provocada, cuando no se dispone de los recursos necesarios para lanzar radiosondas. Es una técnica costosa lo que unido a la difícil situación económica que atraviesa el país no siempre es posible adquirir estos dispositivos. Para suplir esta situación se emplean sondeos de la atmósfera obtenidos de sitio web ARL. A pesar de que estos datos se han empleado con bastante éxito, es necesario validar las salidas del modelo con el fin de asegurar la eficacia de los resultados obtenidos durante su empleo.

La utilización de datos del reanálisis se ha empleado en los últimos años para compensar la falta de observaciones directas en diversas regiones del planeta (Bao y Zhang, 2013), numerosos estudios han comparado el reanálisis con datos procedentes de diferentes fuentes en distintas localidades con el fin de determinar las diferencias con respecto a los modelos de origen, y comprender la calidad y utilidad de la serie de datos obtenida del reanálisis, este último punto es el objetivo del presente estudio, al comparar dichos datos con los sondeos de la estación MODEM instalada en Camagüey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación se emplearon los sondeos aerológicos reales y calculados de los años 2013 y 2014 para Camagüey. Los sondeos reales fueron obtenidos de la base de datos de la estación aerológica francesa (MODEM) con el sistema de sondeo (SR2-K2), ubicada en el Centro Meteorológico de Camagüey en las coordenadas 21°.25' N y -77°.50' W y los sondeos obtenidos del GDAS (que denominaremos sondeos calculados) en la página web <http://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php>, de la NOAA.

Se seleccionaron y parearon los datos de las 12:00Z de ambos perfiles verticales de los periodos lluvioso y poco lluvioso. Posteriormente se compararon las variables de temperatura, altura, punto de rocío, y la componente zonal (u) y meridional (v) de la velocidad del viento, para

determinar si existen diferencias significativas entre los niveles de ambos sondeos. Los datos primarios corresponden a los niveles de 1000, 950, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100 hPa.

Se hizo el análisis particularizado para cada período estacional: lluvioso y poco lluvioso, con el objetivo de detectar si había incompatibilidades entre estos dos periodos estacionales.

Se calcularon los valores medios y las desviaciones estándar a las diferentes variables, se excluyeron los pares en que al menos uno de los datos superó la media ± 2 desviaciones estándar. También se calculó el promedio de las diferencias, así como la desviación estándar de las diferencias y la media \pm desviación estándar para todas las variables para determinar la variabilidad de las misma (Casanova *et al.*, 2005).

La estadística inferencial se empleó en la interpretación y valoración cuantitativa de las series que se estudian. Se realizó la prueba t de Student para muestras relacionadas a un nivel de significación de 0.05. Se asumió como hipótesis la igualdad de las dos medias y se escogió como región de aceptación el área de $p = 95\%$ bajo la curva de la distribución t, por lo que considerando las dos colas de la distribución el valor de rechazo resultó ser para valores menores a 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [figura 1](#) se observan los perfiles medio de la altura para los años 2013-2014 de los

sondeos reales y calculados perteneciente al periodo lluvioso.

Analizando los valores medios de altura calculada y altura real que aparecen en la [figura 1](#) se aprecia que prácticamente no hay diferencias entre ellas, mientras que en la [figura 1b](#) en mayor detalle se pueden detectar las diferencias entre ambos perfiles, las menores diferencias de los datos, se encuentran desde el nivel 750 hPa hasta 500 hPa y las mayores aparecen partir de 1000 hPa a 850 hPa, para después incrementarse en el nivel de 450 hPa hasta 100 hPa, y no sobrepasa los 20 m en este último nivel. Además, por lo general la altura media de los sondeos calculados por el modelo se encuentra por debajo de la altura del sondeo real realizado con el sistema de observación (SR2K2). La prueba t de Student para muestras pareadas se aplicó a las series de datos a cada altura, para determinar la existencia de diferencias significativas entre ambas muestras. Como resultado se obtuvo que la altura media del sondeo calculado y del sondeo real en cada nivel no son estadísticamente diferentes a un nivel de significación de 0.05.

En la [figura 2a y b](#) se observa que los perfiles medios de temperatura y de las diferencias de las medias de los sondeos calculado y real no muestran prácticamente diferencias entre sí, y no sobrepasan los 2°C, sin embargo, la prueba estadística realizada muestra que estas variables que no en todos los niveles mandatorios ambas series se comportan de manera similar. En los niveles de 850, 750 y 300 hPa no existe evidencia estadística de que la media de ambas muestras sea similar a un nivel de significación del 95%.

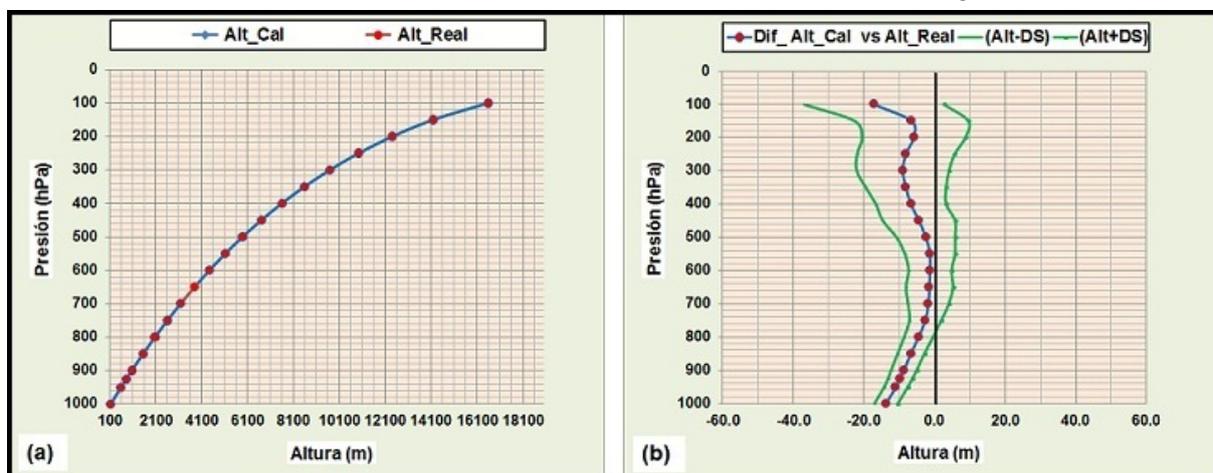


Figura 1. a) Perfiles promedio de Alt_real (puntos rojos) y Alt_cal (puntos azules). b) Diferencia entre Alt_real y Alt_cal (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde). Periodo lluvioso.

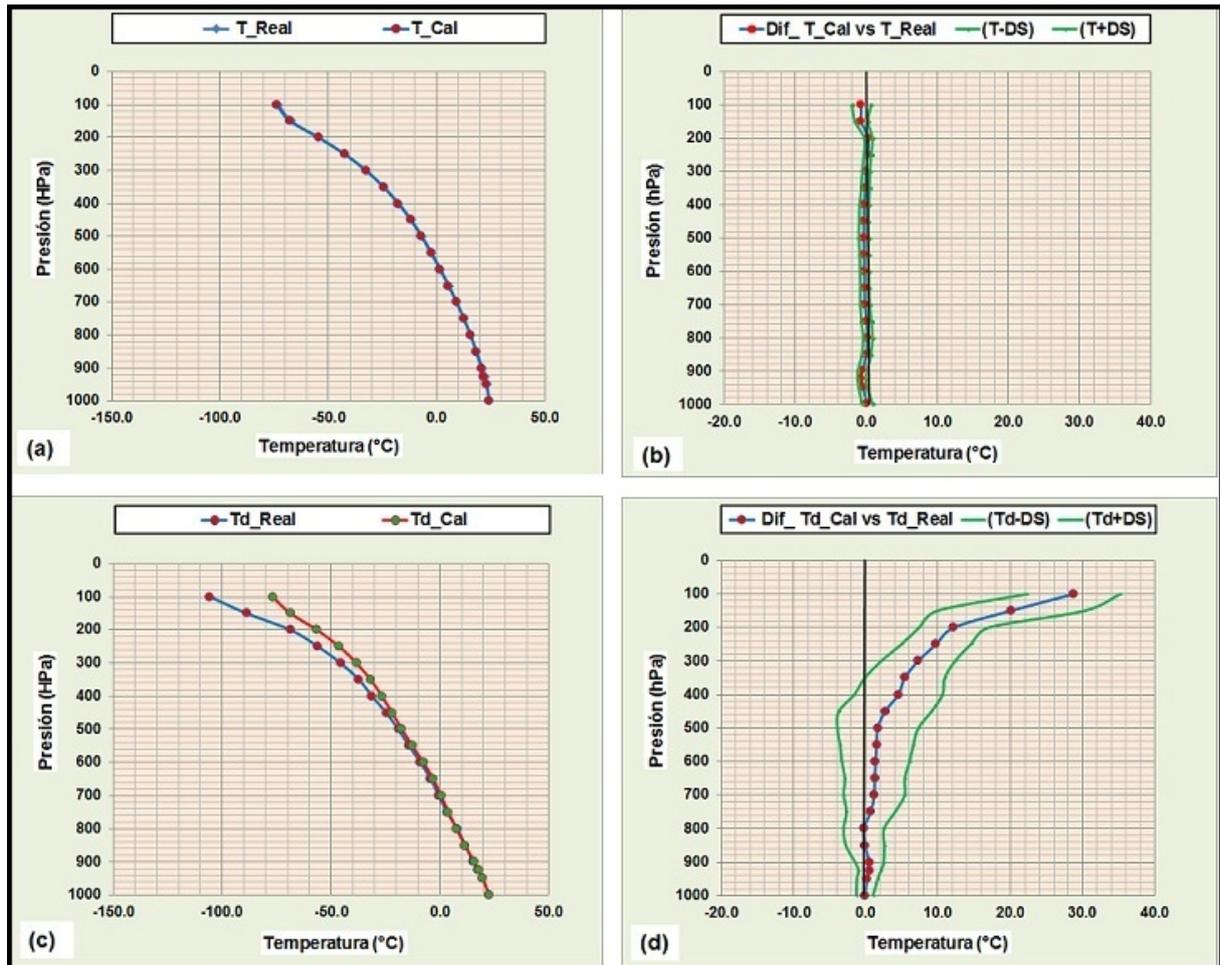


Figura 2. a) Perfiles promedio de T_{real} (puntos azules) y T_{cal} (puntos rojos). c) perfiles promedio Td_{real} (puntos rojos) y Td_{cal} (puntos verdes). b) Diferencia entre T_{real} y T_{cal} (puntos rojos). d) Diferencia entre Td_{real} y Td_{cal} (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde).
Periodo lluvioso.

No obstante, las diferencias en esos niveles se comportan dentro del error de exactitud ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) del sensor de temperatura de la radiosonda M2K2, (MODEM, 2004).

El comportamiento de los perfiles medios de la temperatura del punto de rocío de los sondeos calculado y real se muestra en la [figura 2c](#), mientras que en la [figura 2d](#) se puede apreciar que las diferencias promedio, estas se incrementan con la altura a partir de 750 hPa, alcanzando el máximo en los 100 hPa ($\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que en los 300 hPa no supera los 8 $^{\circ}\text{C}$, que constituye la altura de interés para los estudios realizados. Además, el análisis estadístico de comparación de ambas series de datos para el punto de rocío muestra que, en los niveles de 1000, 850 y 800 hPa existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación de 0.05. En este caso las

diferencias también se encuentran dentro del error instrumental ($\pm 5\%$) con que mide el sensor de humedad de la radiosonda (M2K2).

Los perfiles verticales medios de las componentes zonal (u) y meridional (v) de la velocidad del viento se muestran en la [fig. 3](#), así como las diferencias medias de las mismas variables, para el sondeo calculado y el sondeo real.

Los perfiles medios de la componente zonal (u) de la velocidad del viento del sondeo real y el calculado se muestran en la [figura 3a](#) y el promedio de las diferencias en la [figura 3b](#). En esta última se observa que las diferencias no superan 1 m/s exceptuando los 1000 hPa que sobrepasa ligeramente este valor. La mayor diferencia se alcanza en los 850 hPa ($\sim 0.8\text{ m/s}$). Las mayores dispersiones de la desviación estándar con respecto a la diferencia de las

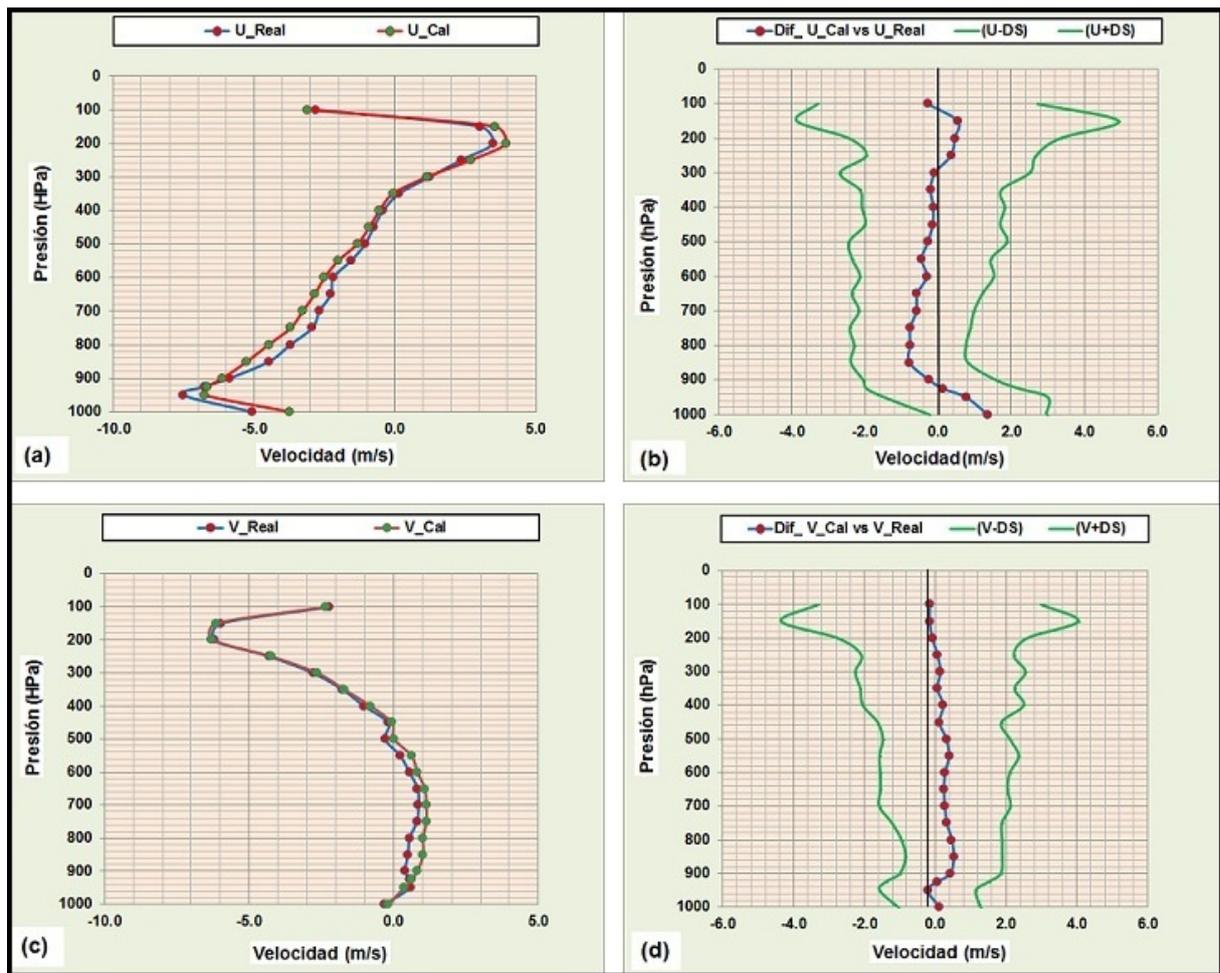


Figura 3. a) Perfiles promedio de U_{real} (puntos rojos) y U_{cal} (puntos verdes). c) perfiles promedio V_{real} (puntos rojos) y V_{cal} (puntos verdes). b) Diferencia entre U_{real} y U_{cal} (puntos rojos). d) Diferencia entre V_{real} y V_{cal} (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde). Periodo lluvioso.

medias se aprecian a partir del nivel de 200 a 100 hPa. También se aplicó una prueba estadística a ambas series de datos para ver si existen diferencias significativas o no entre ellas, el análisis estadístico muestra que, en los niveles de 925, 900, 500, 450, 400, 350, 300, 150 y 100 hPa del calculado con respecto al real existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%. Aunque la prueba estadística muestra diferencias entre las medias de las series de datos en dichos niveles, esas diferencias se encuentran dentro del error instrumental de (± 0.15 m/s) con que mide la radiosonda M2K2, (MODEM, 2004).

En la [figura 3c](#) se observa el comportamiento de los perfiles medios de la componente meridional (v) de la velocidad del viento de los sondeos calculado y real, donde se aprecian las mayores diferencias a partir del nivel de 900

hasta 500 hPa, y como se distingue con mayor detalle en la [figura 3d](#) las diferencias medias no sobrepasan los 0.8 m/s. Igualmente se realizó la prueba estadística para definir si existen diferencias significativas entre ambas muestras, la cual arrojó que en los niveles 1000, 925, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150 y 100 hPa, existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación de 0.05. No obstante, dichas diferencias entre el sondeo calculado y el real, se encuentran dentro del error de exactitud (± 0.15 m/s) con que mide la radiosonda M2K2, (MODEM, 2004).

En la [Figura 4](#) se muestran los perfiles medios de altura para los años 2013-2014 de los sondeos reales y calculados pertenecientes al periodo poco lluvioso.

Observando los valores medios de la altura calculada y altura real en la [figura 4a](#), se puede

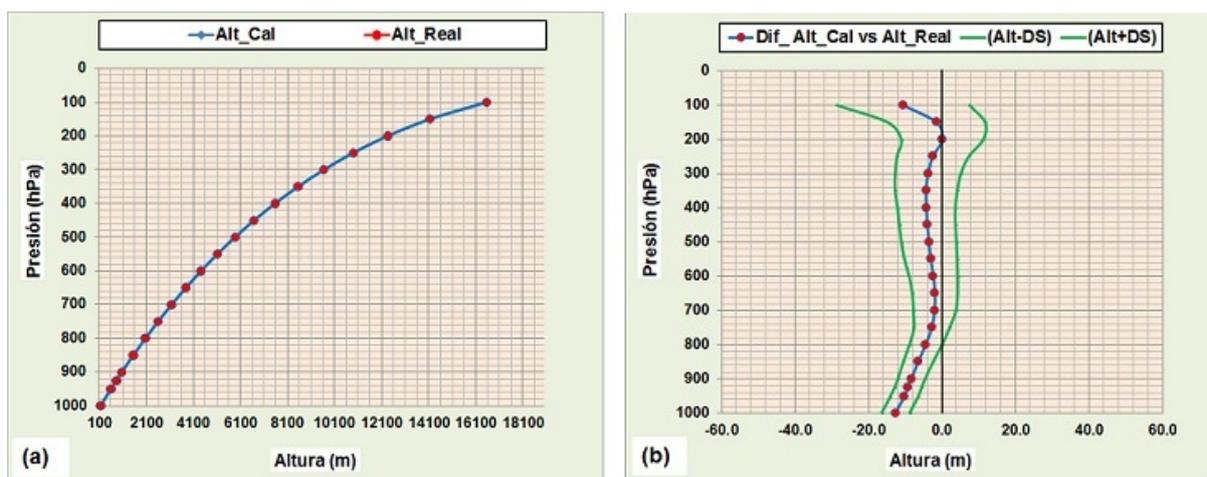


Figura 4. a) Perfiles promedio de Alt_real (puntos rojos) y Alt_cal (puntos azules) (puntos rojos). b) Diferencia entre Alt_real y Alt_cal (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde). Periodo poco lluvioso.

apreciar que no existen diferencias significativas entre los valores medios de ambas series, mientras que en la [figura 4b](#) se pueden distinguir más al detalle las diferencias entre ambas, las mayores se encuentran a partir del nivel de 1000 a 750 hPa, mientras que de 550 a 300 hPa, hay otro ligero aumento, para finalmente incrementarse en el nivel de 100 hPa, sin embargo, no superan los 15 m en ninguno de los niveles. También se aplicó la prueba t de Student para muestras pareada, la cual mostró que solo existen diferencias significativas para el nivel de 200 y 150 hPa, con un nivel de confianza del 95%.

En las [figuras 5a y b](#) se observa que los valores medios de la temperatura y de las diferencias promedio de temperatura del sondeo calculado y el real, no muestran prácticamente deferencias en ambas series de datos y al largo de todo el perfil no supera los 3 °C. La prueba estadística t de Student mostro que existen diferencias significativas en los niveles de 700, 500 y 450 hPa, a un nivel de significación de 0.05. No obstante, dichas diferencias se pueden considerar dentro del error de exactitud (± 5 °C) con que mide la radiosonda M2K2, ([MODEM, 2004](#)) de manera que cuando no existe el dato real se puede utilizar el calculado por el modelo.

En la [figura 5c](#) se muestra el comportamiento de los perfiles medios de la temperatura del punto de rocío del sondeo calculado y el real, se observan algunas diferencias a partir del nivel de 600 hPa. En la [figura 2d](#) se puede apreciar que las mayores diferencias se encuentran a partir de los

700 hPa, desde donde se observa un aumento paulatino de las diferencias medias de la temperatura del punto de rocío, que llega a ser de 30 °C en los 100 hPa, pero en los 300 hPa es ~14 °C. El análisis estadístico de comparación de ambas series de datos muestra que, en los niveles de 800, 750 y 700 hPa, existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación de 0.05. Igualmente se puede definir que esas diferencias se encuentran dentro del error instrumental ($\pm 5\%$) con que mide el sensor de humedad de la radiosonda M2K2, ([MODEM, 2004](#)), y se calcula el punto de rocío, el cual se puede utilizar en Camagüey cuando no se disponga de información del sondeo real.

En la [figura 6a](#) se aprecia en el comportamiento de los perfiles medios de la componente zonal (u) de la velocidad del viento del sondeo real y el calculado, algunas diferencias desde el nivel de 900 hasta 700 hPa, mientras que en la [figura 6b](#) estas diferencias se observan en mayor detalle se encuentran desde el nivel 1000 hasta 850 hPa, en este nivel alcanzan el valor máximo (~2m/s) y posteriormente continúa fluctuando hasta alcanzar el mínimo en los 100 hPa. Además, este análisis nos muestra que los datos como valor numérico de la componente zonal (u) del sondeo calculado por el modelo se encuentran por debajo de los valores del sondeo real realizado con la estación SR2K2. También se aplicó una prueba estadística a ambas series para comprobar la existencia de diferencias significativas o no entre ellas, el análisis estadístico muestra que, en los niveles de 950,

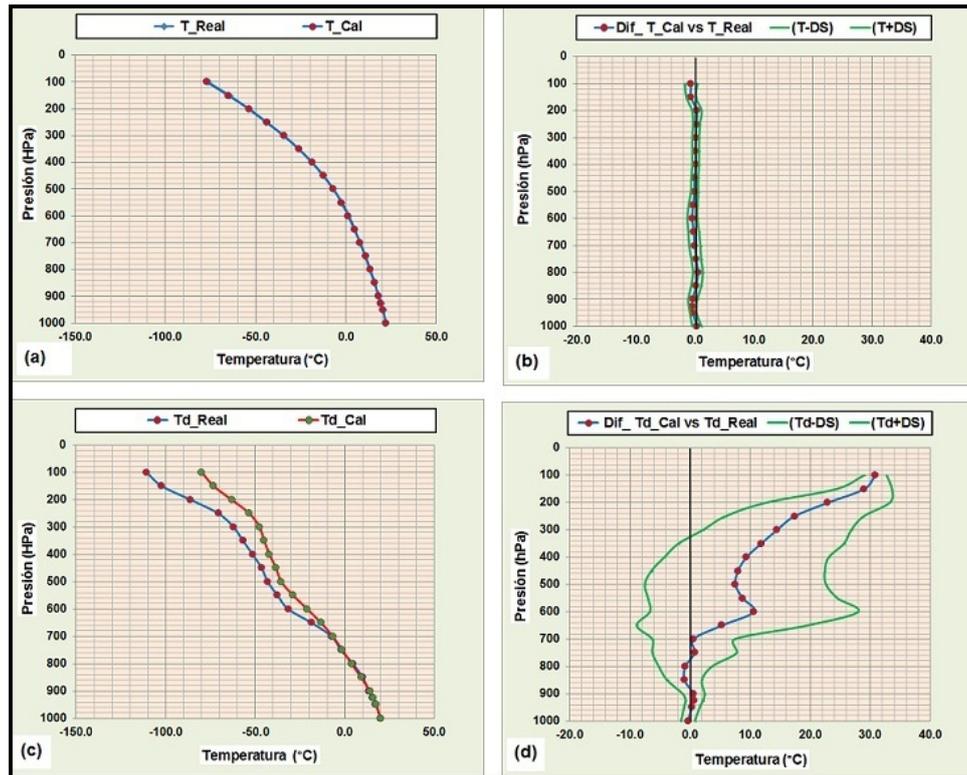


Figura 5. a) Perfiles promedio de T_{real} (puntos azules) y T_{cal} (puntos rojos). c) perfiles promedio Td_{real} (puntos rojos) y Td_{cal} (puntos verdes). b) Diferencia entre T_{real} y T_{cal} (puntos rojos). d) Diferencia entre Td_{real} y Td_{cal} (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde).
Periodo poco lluvioso.

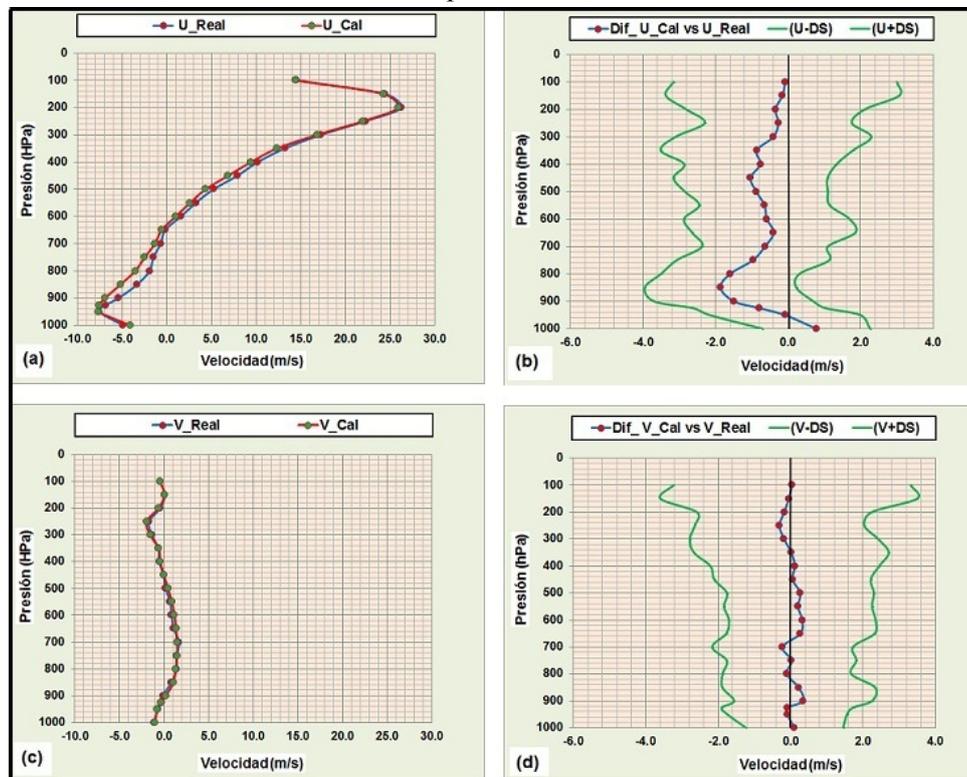


Figura 6. a) Perfiles promedio de U_{real} (puntos rojos) y U_{cal} (puntos verdes). c) perfiles promedio V_{real} (puntos rojos) y V_{cal} (puntos verdes). b) Diferencia entre U_{real} y U_{cal} (puntos rojos). d) Diferencia entre V_{real} y V_{cal} (puntos rojos), DS-desviación estándar (línea verde).
Periodo poco lluvioso.

300, 250, 200, 150 y 100 hPa, del calculado con respecto al real existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%. Aunque la prueba estadística muestra diferencias entre ambas series de datos en dichos niveles, estas diferencias se encuentran dentro del error instrumental ($\pm 0.15\text{m/s}$) con que mide la radiosonda M2K2, (MODEM, 2004) de manera que se puede utilizar la información de dicha variable en caso de no disponibilidad del dato real.

En la [figura 6c](#) no se aprecian prácticamente diferencias en el comportamiento de los perfiles medios de la componente meridional (v) de la velocidad del viento del sondeo calculado y el real, mientras que en la [figura 6d](#) se destacan con mayor precisión las diferencias medias entre ambas series de datos, estas diferencias se encuentran en los niveles de 900 a 850 hPa, aumentando nuevamente a partir del nivel de 700 a 500 hPa, vuelve a ocurrir un ligero aumento de 300 a 200 hPa, estando las diferencias promedio siempre por debajo de los 0.2 m/s. Igualmente se realizó la prueba estadística para definir si existen diferencias significativas entre ambas muestras, la cual demostró que para los niveles 1000, 950, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150 y 100 hPa, existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación de 0.05. Dichas se encuentran dentro del error de exactitud ($\pm 0.15\text{m/s}$) con que mide la radiosonda M2K2, (MODEM, 2004) de manera que permite la utilización de los datos en caso de no tener la información del sondeo real.

CONCLUSIONES

La calidad y utilidad de las series de datos de los sondeos calculados por el modelo GDAS (Sistema Global de asimilación de datos) ha sido determinada mediante su comparación con los sondeos reales de Camagüey durante los años 2013-2014. Existe buena concordancia entre ambas series de datos y se encuentran dentro de los límites permisibles para su utilización en el trabajo operativo. Las diferencias de la temperatura no sobrepasan los 3 °C en ninguno de los periodos, en el caso de la altura estas diferencias por lo general están por debajo de los 10 m, mostrando que para ambas variables existe

una buena concordancia de los datos. Otro tanto sucede con la velocidad zonal y meridional que se encuentra comúnmente por debajo de 1 m/s. La diferencia mayor se encuentra en la temperatura del punto de rocío que al nivel de 100 hPa alcanza aproximadamente los 30 °C, pero para el trabajo práctico la altura de interés es los 300 hPa, a este nivel la diferencia promedio de las series no sobrepasa los 14 °C.

La información de los sondeos calculados que se generan por el modelo, resultan adecuados para representar las principales características termodinámicas observadas en Camagüey y pueden utilizarse en las investigaciones de la física de la atmósfera cuando no se disponga de la información del sondeo real. En los análisis realizados al comparar las variables obtenidas de los sondeos y el modelo en los periodos lluvioso y poco lluvioso, las mayores correspondencias se observan en el periodo lluvioso.

REFERENCIAS

- ARL-GDAS (Air Resources Laboratory - Global Data Assimilation System). 2004. *VISIÓN GENERAL DEL ARCHIVO GDAS*. Air Resources Laboratory - GDAS Data Archive, disponible: Air Resources Laboratory - GDAS Data Archive, disponible: <https://www.ready.noaa.gov/gdas1.php>, [Consultado: 10 de agosto 2017].
- Bao, X. and F. Zhang: 2013. Evaluation of NCEP-CFRS, NCEP-NCAR, Era-Interim, and ERA-40 Reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau. *J. of Climate*, Vol. 26, pp. 206-214.
- Casanova, C.; Romero, A.; Hernández, E. & Casanova, J. 2005. "Validación de los perfiles atmosféricos de temperatura de los sensores Modis y AIRS mediante radiosondeos en la Península Ibérica". En: *Memoria XI Congreso Nacional de Teledetección*, del 21-23 septiembre 2005, Puerto de la Cruz, Tenerife, disponible: En: *Memoria XI Congreso Nacional de Teledetección*, del 21-23 septiembre 2005, Puerto de la Cruz, Tenerife, disponible: <http://dns2.aet.org.es/congresos/xi/ten65.pdf>, [Consultado: 6 de febrero 2018].

Modem. 2004. *M2K2 GPSonde USER'S NOTICE*. Documento, no. M2K2-RSUNUS version 1.3-julio 2005, Francia: MODEM, disponible: 3-julio 2005, Francia: MODEM, disponible: <http://www.meteomodem.com/> , [Consultado: 5 de febrero 2017].

Rivero, I.; Martínez, D.; Velazco, E.; Llanes, M. & Cardenas, R. 2005. "Análisis de las observaciones de aire superior realizadas en la estación de Camagüey (Cuba) con el sistema de radiosondeo SR2K2 (MODEM)". En: *Memorias del IV Congreso de Meteorología*, 5 de diciembre de 2007, Habana, Cuba, disponible: En: Memorias del IV Congreso de Meteorología, 5 de diciembre de 2007, Habana, Cuba, disponible: https://ecitydoc.com/download/resultado-de-las-observaciones-aerologicas-realizadas-en-la_pdf , [Consultado: 20 de marzo, 2017].

WMO. 2004. *INTERCOMPARISON OF GPS RADIOSONDES*. Report of the Commission for Instruments and Methods of observation, Geneva, Switzerland 17-20 march 2004: WMO, disponible: Report of the Commission for Instruments and Methods of observation, Geneva, Switzerland 17-20 march 2004: WMO, disponible: [https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/meetings/Upper-Air/Systems-Intercomp/Doc7\(2\).pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/meetings/Upper-Air/Systems-Intercomp/Doc7(2).pdf) , [Consultado: 16 de abril 2017].

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

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/)