



Estudio de fluctuación climática sobre Camagüey – Sancti Spiritus derivada de un conflicto nuclear entre potencias emergentes

Study over Camagüey – Sancti Spiritus of climate fluctuation derived from nuclear conflict between emergent powers

Roger E. Rivero-Vega[✉], Zoltan I. Rivero-Jaspe, Roger R. Rivero-Jaspe

Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Camagüey, Cuba

Resumen

Un conflicto nuclear entre dos potencias nucleares emergentes podría inyectar en la estratosfera unos 5 Tg de aerosoles carboníferos que provocando una reducción de la radiación solar a nivel de superficie desencadenaría una fluctuación climática planetaria durante una década o más. Fueron determinados los comportamientos de las principales variables climáticas en la región Camagüey – Sancti Spiritus durante la duración de tal fluctuación empleando bases de datos mensuales medidos en las estaciones meteorológicas del área y las anomalías mensuales simuladas por el modelo E de clima global creado por GISS para los 10 años posteriores al conflicto. Los resultados obtenidos indicaron una reducción súbita de los valores medios mensuales de la temperatura y la radiación solar global así como un incremento sustancial de las precipitaciones desde el mismo mes de la guerra que se extienden en general durante toda la duración de la fluctuación. Las desviaciones anuales con respecto a los valores medios del clima base fueron más notables durante los primeros 2 – 5 años posteriores a la conflagración mientras que para ese mismo período se produjeron una serie consecutiva de años durante los cuales las temperaturas medias mensuales no rebasaron los 25 grados Celsius al producirse una nivelación de los valores medios de esta variable durante el verano que permitió extender hacia ellos la denominación de años sin verano.

Palabras claves: conflicto nuclear, fluctuación climática, años sin verano

Abstract

The occurrence of a low intensity nuclear conflict between two emergent nuclear powers could lead to the stratospheric injection of 5 Tg of carbon aerosols generating as consequence a planetary climate fluctuation. Historical monthly databases of temperature, global solar radiation and precipitation corresponding to meteorological stations in the region Sancti Spiritus – Camagüey were combined with monthly anomalies simulated by the GISS Model E studying climate behavior on that area during the ten years period affected by the climate fluctuation. Results showed a drastic reduction in temperatures and solar global radiation accompanied by an increase in precipitation that would begin the same month of the conflict and extend through the 10 years long fluctuation.

[✉] Autor para correspondencia: Roger E. Rivero-Vega. E-mail: rogercmg@caonao.cu

Recibido: 16/8/2017

Aceptado: 6/12/2017

The deviation of annual values of the variables studied will be most important during the first 2- 5 years. During that same period there appeared a sequence of years in which mean monthly temperatures wouldn't be higher than 25 Celsius and behaving as years without summer.

Keywords: Nuclear conflict, climate fluctuation, years without summer

INTRODUCCIÓN

A mediados de la década de los ochenta del pasado siglo, en plena guerra fría, la comunidad científica internacional comenzó a comprender que las calamidades derivadas de un conflicto nuclear entre las grandes potencias podían ir mucho más allá de la destrucción directa derivada de las bombas nucleares y la subsecuente contaminación del aire, el suelo y las aguas por isótopos radiactivos. Como consecuencia de tormentas de fuego generadas en zonas densamente pobladas con alta densidad de materiales combustibles, cantidades ingentes de polvo y aerosoles carboníferos serían inyectados a niveles estratosféricos, donde bloquearían la luz del sol, alterarían el balance radiativo de la superficie terrestre y la estratificación vertical de la temperatura en la atmósfera, ocasionando fluctuaciones climáticas de varios años de duración que podrían acabar con los posibles sobrevivientes de las consecuencias inmediatas del conflicto.

En plena carrera armamentista el escenario estudiado consistía básicamente en el derivado de un conflicto nuclear a gran escala entre las grandes potencias. Tal escenario conduciría a la inyección a niveles estratosféricos de cientos de Gigatoneladas de aerosoles, lo que según los modelos climáticos globales de la época conllevaría a una caída del orden de 15 grados Celsius en niveles de superficie a nivel global y de unos 10 grados Celsius para la zona tropical del planeta ([Velikhov, 1985](#)). Debido a esta drástica reducción de la temperatura superficial como consecuencia de la guerra nuclear a gran escala, esta fluctuación climática recibió en los medios científicos y de difusión masiva el nombre de “invierno nuclear” ([Turco et al., 1984](#); [Velikhov, 1985](#)). El carácter limitado de los modelos climáticos globales disponibles

para la época no permitía extender las simulaciones para plazos superiores a un año, y se llegó a pensar que las fluctuaciones climáticas asociadas al conflicto tendrían una duración temporal del orden de uno o dos años. Esta última estimación sería drásticamente modificada en las simulaciones más avanzadas, realizadas ya en la primera década del presente siglo, cuando estas estimaron que las modificaciones climáticas derivadas del conflicto podrían extenderse hasta 10 años después de ocurrido el mismo ([Robock y Toon, 2010](#)).

Las grandes potencias no solo poseen todavía la capacidad de destrucción mutua asegurada capaz de desencadenar las condiciones climáticas extremas asociadas al invierno nuclear, sino que en el período posterior a la guerra fría otros países como Israel, China, India y Paquistán han alcanzado la capacidad de construir, almacenar y utilizar armamento nuclear ([Robock y Toon, 2010](#)). Este hecho ha estado de algún modo asociado a la concepción de que un conflicto nuclear limitado no produciría impactos considerables sobre el sistema climático a escala global.

Tales consideraciones han conducido a la comunidad internacional a establecer gradaciones en la escala de los conflictos nucleares. Para fines del presente estudio tales conflictos podrían clasificarse como de gran, media y baja intensidad según la magnitud calculada de la inyección de aerosoles carboníferos a niveles estratosféricos. Un gran paso adelante en la comprensión de las consecuencias climáticas de conflictos nucleares fue el logrado en los nuevos resultados alcanzados por [Robock et al. \(2007a y b\)](#). En estos trabajos los conflictos nucleares de alta, media y baja intensidad podrían conducir a emisiones estratosféricas del orden

de 150, 50 y 5 Tg de aerosoles respectivamente ([Robock et al., 2007a](#)).

Las simulaciones numéricas del impacto sobre el clima terrestre de conflictos nucleares de cualquiera de estas intensidades, llevadas a cabo con modelos de circulación mucho más avanzados que aquellos disponibles durante la década de los ochenta, no solo confirmaron los resultados originales obtenidos sino que concluyeron que el efecto perceptible sobre el clima de la inyección de aerosoles carboníferos en la estratosfera sería mucho más prolongado que el estimado originalmente ([Robock y Toon, 2010](#)).

Una conclusión de gran interés resultó constatar que aun un conflicto nuclear de baja intensidad, como el que podría ocurrir entre dos países con economías emergentes como India y Pakistán, conllevaría a fluctuaciones considerables del clima global y podría traer como consecuencia, entre otras, el fracaso de las producciones agrícolas en muchos países con el impacto derivado de esto sobre el mercado mundial y los precios de los alimentos, desestabilizando la seguridad alimentaria y conduciendo a la hambruna y a la inestabilidad social en el mundo en desarrollo ([Toon et al., 2008](#)).

La evaluación de los impactos esperados de las fluctuaciones climáticas asociadas a conflictos nucleares solo puede llevarse a cabo de manera coherente si se dispone de escenarios climáticos que reflejen tales fluctuaciones para el área y el sector de estudio que se pretende evaluar. Tales escenarios han sido obtenidos para las estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas llanas de la región centro-oriental de Cuba. Para crear los escenarios climáticos derivados de un conflicto de baja intensidad se utilizaron las anomalías mensuales de temperatura, radiación solar global y precipitación, relativas a una corrida de control de un modelo de circulación general de la atmósfera, para un período de 10 años a partir de un conflicto nuclear entre India y Pakistán obtenidas de la simulación numérica realizada por [Robock et al. \(2007b\)](#). El modelo acoplado

océano-atmósfera utilizado fue el Modelo E de GISS que incluye un módulo para calcular el transporte y la remoción de las partículas de aerosoles. El modelo atmosférico está conectado a un modelo completo de circulación general del océano que calcula el hielo marino, permitiendo al océano reaccionar rápidamente en la superficie y en escalas anuales para el océano profundo. El modelo atmosférico se corrió con resolución de 4°x5° de latitud-longitud, con 23 capas verticales que se extienden hasta los 80 km. de altura. El modelo oceánico acoplado tiene 13 capas y la misma resolución espacial horizontal. Tales anomalías calculadas por el modelo de circulación general empleado corresponden al punto de rejilla localizado en 22 grados Norte con 80 grados Oeste, y constituyen el promedio de tres miembros del *ensemble* original utilizado en la simulación global. Aunque el conflicto ocurre en mayo del primer año de las simulaciones efectuadas cada año de anomalías comienza con enero.

La generalidad de las estaciones meteorológicas de las provincias de Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey cumplen el criterio de vecino más cercano del punto de rejilla para el cual se dispuso de las anomalías estimadas por el Modelo E de GISS.

Las conclusiones obtenidas y la literatura publicada sobre el clima de Cuba indican que el clima de las llanuras centrales y costeras de Cuba presenta una elevada zonalidad debida a su baja extensión latitudinal y para muchos fines de estudio los resultados alcanzados en una estación pueden ser fácilmente extrapolados a otras cuyo estudio particular pudiera considerarse redundante ([Marrero, 1950](#); [Lecha et al., 1994](#); [Rivero et al., 2010](#)). Las estaciones en zonas montañosas o con alta influencia marítima no fueron incluidas.

El objetivo principal del presente estudio es el de determinar la evolución espacio – temporal de las variables climáticas principales en la región centro-oriental de Cuba durante el período de duración de la fluctuación utilizando escenarios climáticos derivados de un conflicto

nuclear de baja intensidad entre la India y Pakistán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Clima base

Series de datos mensuales correspondientes al período 1993-2013 tomados como clima base para 9 estaciones meteorológicas enclavadas en la región de estudio, consistente básicamente en las llanuras de las provincias de Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey. Dado que nuestras estaciones no poseen series observadas de radiación solar global, esta variable fue estimada por la fórmula de Hargreaves calibrada contra una base de radiación solar observada en la estación meteorológica de Camagüey ([Allen et al., 1998](#); [Pomares, 2011](#); [Rivero et al., 2013](#)).

Anomalías mensuales estimadas por el Modelo E de clima global

Las anomalías mensuales de radiación solar global, temperatura y precipitaciones respecto a la corrida de control del Modelo E en 22N y

80W a consecuencia de un conflicto nuclear de baja intensidad ocurrido un 15 de mayo entre India y Pakistán que hubiese podido inyectar 5 Tg de aerosoles carboníferos en la estratosfera y correspondientes a 10 años sucesivos incluido el año del conflicto fueron gentilmente suministrados por Alan Robock y colaboradores ([Robock et al., 2007b](#)). Las características generales de tales anomalías son mostradas en las [tablas 1, 2, 3](#).

Para los fines del presente estudio resulta indiferente el mecanismo mediante el cual esta cantidad de aerosoles carboníferos fuese inyectada en la estratosfera ya que son los efectos de tal inyección los que resultaron estudiados. La inyección estratosférica de esta cantidad de aerosoles pudiese también deberse a fenómenos naturales (volcánicos o meteóricos) o como resultado de experimentos de geoingeniería ambiental. Sin embargo, la composición y estado de agregación de tales aerosoles podrían cambiar el carácter de la fluctuación climática.

Tabla 1. Porcentaje de anomalías negativas para las temperaturas medias mensuales durante los 10 años estudiados

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
%	100	90 ¹	90 ¹	100	100	100
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
%	100	100	100	100	100	100

¹El 10% restante en febrero y marzo corresponden al primer año antes del conflicto en mayo.

Tabla 2. Porcentaje de anomalías negativas para la radiación solar global mensual media durante los 10 años estudiados

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
%	100	100	100	100	100	100
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
%	100	100	100	100	100	100

Tabla 3. Porcentaje de anomalías positivas para las precipitaciones mensuales durante los 10 años estudiados.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
%	100 ¹	70 ¹	80 ¹	100 ¹	90	80
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
%	90	40	70	60	30	80

¹Un 10% de anomalías positivas durante los meses de enero – abril corresponden al primer año antes del conflicto en mayo.

Escenarios correspondientes a la fluctuación climática

Los escenarios que describen la fluctuación climática para cada estación meteorológica en la región de estudio fueron creados aplicando las anomalías previstas por el modelo global a cada mes de la serie mensual de cada año del clima base. Esto condujo a la creación de 200 años escenarios para cada estación en 20 secuencias de 10 años consecutivos conteniendo un total de 2400 meses escenarios. La forma recomendada de crear tales escenarios (Xia y Robock, 2013; Ozdogan *et al.*, 2013) difiere de la forma usual de crear escenarios de cambio climático porque la anomalía específica de cada mes y año posterior al conflicto es aplicada a cada mes y año del clima base. Tal circunstancia genera un escenario de clima no estacionario en el cual resulta riesgoso hablar de un clima válido durante los 10 años de la fluctuación.

Estando dentro de la zona de vecino más cercano al punto de rejilla donde se especificaron las anomalías calculadas por el modelo E de clima global, y al mismo tiempo separada de este por una distancia de más de 150 kilómetros, la localidad de Camagüey ha

sido utilizada en el presente trabajo para ilustrar las respuestas esperadas de las variables climáticas principales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Según resultados previos no publicados durante los diez años de la fluctuación climática los valores medios diarios de la radiación solar global anual en Camagüey permanecieron por debajo de sus valores históricos, alcanzando sus valores mínimos durante la primera mitad de ese período (Figura 1) y regresando lentamente luego a sus valores normales antes del conflicto, aunque todavía no recuperándose totalmente (Rivero *et al.*, 2013). Algo similar ocurrió con las temperaturas medias anuales (Figura 2) mientras que por el contrario las precipitaciones anuales sufrieron un incremento tras ocurrido el conflicto nuclear que alcanzó su máximo en los primeros años después de este para luego recuperarse a sus valores normales (Figura 3).

Un estudio a nivel mensual, utilizando el clima base 1993 – 2013 para la región de estudio, concluyó que una vez ocurrido el conflicto nuclear los valores mensuales de la radiación solar global cayeron por debajo de sus valores normales en el clima de referencia

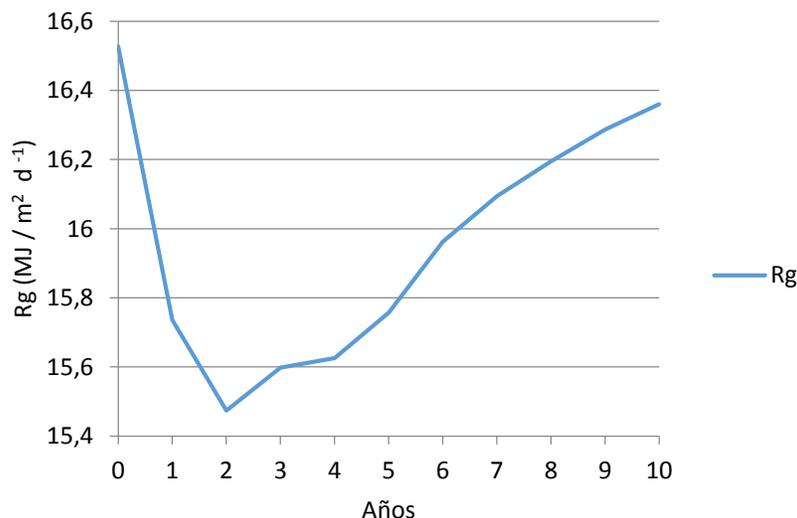


Figura 1. Media anual de la radiación solar global (Rg) en Camagüey utilizando como clima base (1971-2000) y los diez años posteriores al conflicto, según Rivero *et al.* (2013)

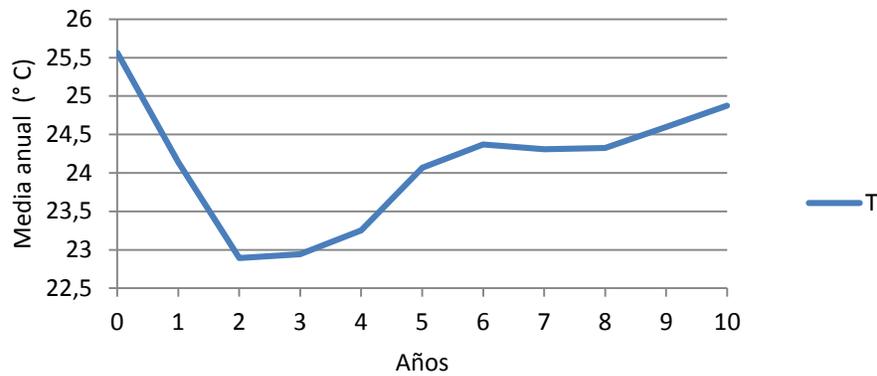


Figura 2. Media anual de la temperatura en Camagüey utilizando como clima base (1971 - 2000) y los diez años posteriores al conflicto, según [Rivero et al. \(2013\)](#)

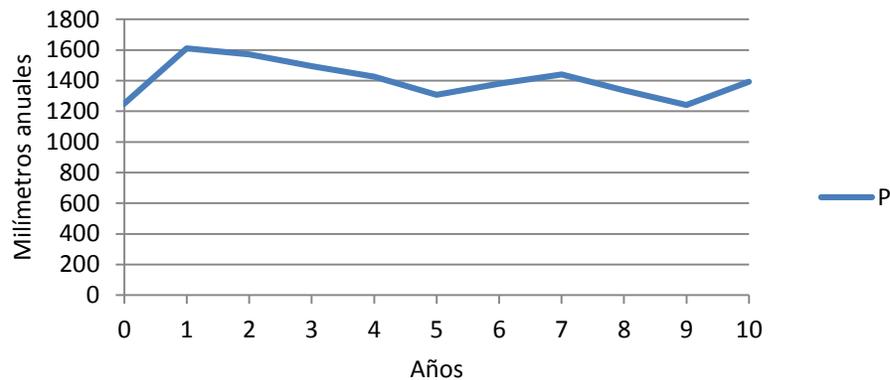


Figura 3. Media anual de las precipitaciones en Camagüey utilizando como clima base (1971 - 2000) y los diez años posteriores al conflicto, según [Rivero et al. \(2013\)](#)

desde el propio mes del conflicto aunque su patrón estacional no se vio alterado de modo consistente, lo que es debido posiblemente al fuerte condicionamiento de este parámetro por factores astronómicos que no son afectados por el conflicto nuclear ([Figuras 4 y 5](#)). El decrecimiento de la radiación solar global a causa de la capa de aerosoles carboníferos estratosféricos y la posible influencia del cambio en los patrones nubosos no llegaron a imponer directamente nuevos patrones estacionales.

Sin embargo, las temperaturas medias mensuales presentaron una serie de años en los cuales los valores medios de los meses más cálidos no alcanzaron los 25 Celsius por lo que el máximo temporal de temperaturas del verano fue sustituido por otros comportamientos que

en ocasiones asemejaron una meseta o incluso presentaron anómalos mínimos secundarios ([Figuras 6 y 7](#)). Tales años han sido denominados por los autores como “años sin verano” por su semejanza por lo ocurrido en Europa y Estados Unidos tras la gigantesca erupción del volcán Tambora en 1826.

Las precipitaciones mensuales sufrieron un incremento considerable durante la primera mitad del período post bélico pero se convierten en irregulares mientras se aproximan a sus valores normales durante la segunda mitad del período de 10 años ([Figuras 8 y 9](#)). El máximo valor de las precipitaciones ocurrió no solo en el propio año del conflicto sino que se vio claramente reflejado en los máximos estacionales de mayo y septiembre de ese año.

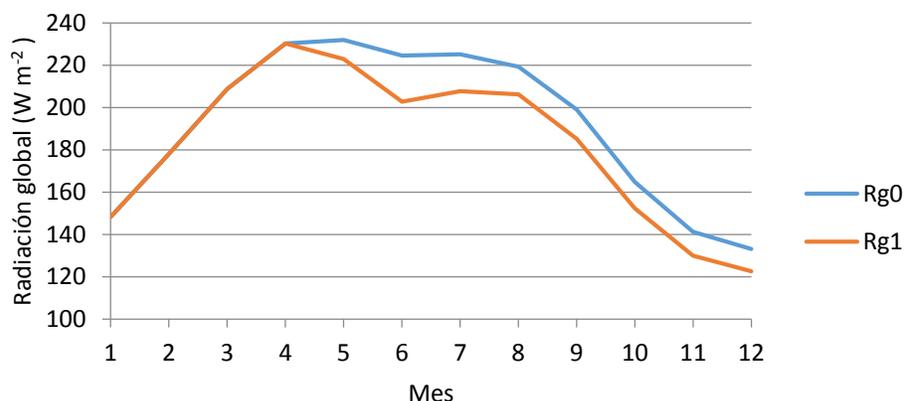


Figura 4. Radiación solar global en Camagüey para el período 1993 – 2013 y el primer año del conflicto. Medias multianuales

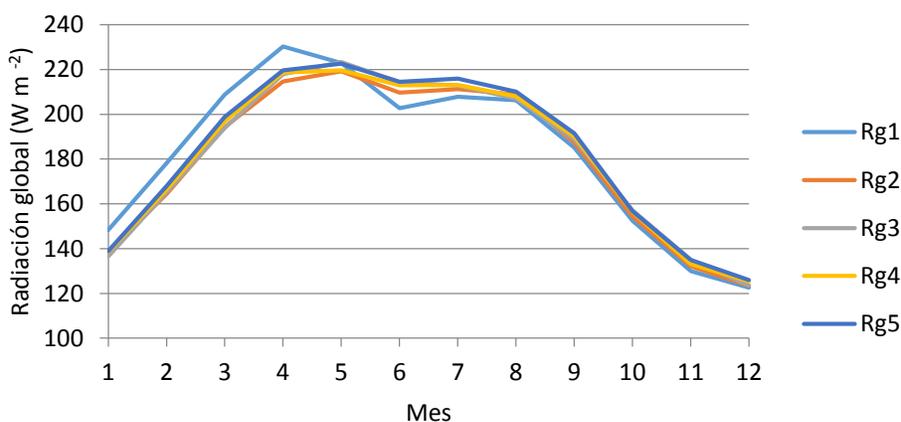


Figura 5. Radiación solar global en Camagüey para los cinco primeros años del conflicto. Medias multianuales

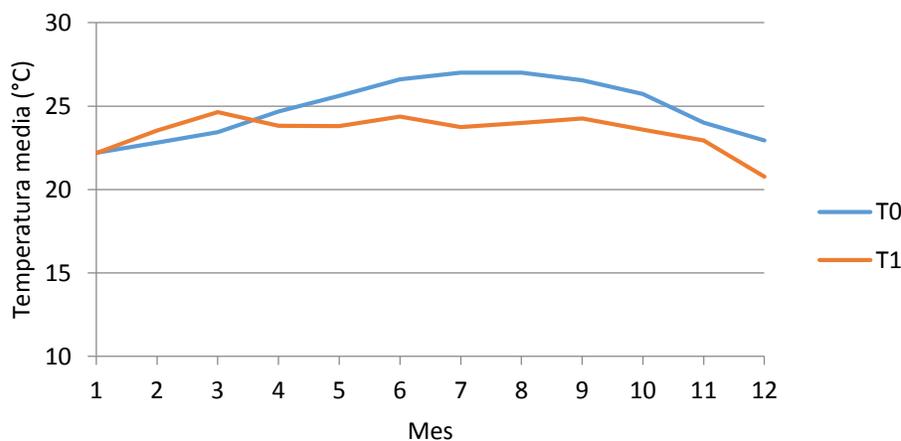


Figura 6. Temperaturas medias mensuales de Camagüey para el período 1993 - 2013 y para el primer año del conflicto nuclear. Medias multianuales

Las anomalías de la precipitación originadas por la fluctuación parecen reforzar los máximos estacionales de esta variable en el clima base. En resumen se observó que durante el período abarcado por la fluctuación habrá meses y años más frescos y con menores niveles de radiación solar en la región que durante su historia observacional. Este clima es generalmente más lluvioso que lo normal al menos durante la primera mitad del período.

La reducción simultánea de los valores de temperatura y radiación solar implica

obligatoriamente una reducción de la evapotranspiración potencial de referencia que en el caso estudiado abarcará todo el período de la fluctuación climática (Allen *et al.*, 1998). La combinación de este hecho con el incremento de las precipitaciones durante gran parte de la duración de la fluctuación conllevará a una secuencia de años más frescos y húmedos que los del clima de referencia. Las nuevas condiciones climáticas podrían favorecer los ecosistemas naturales y agrícolas en régimen de secano.

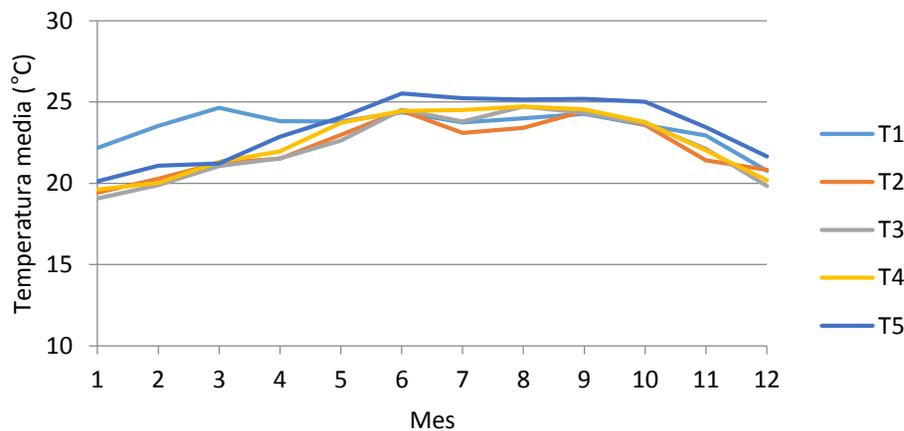


Figura 7. Temperaturas medias mensuales de Camagüey para los cinco primeros años del conflicto nuclear. Medias multianuales

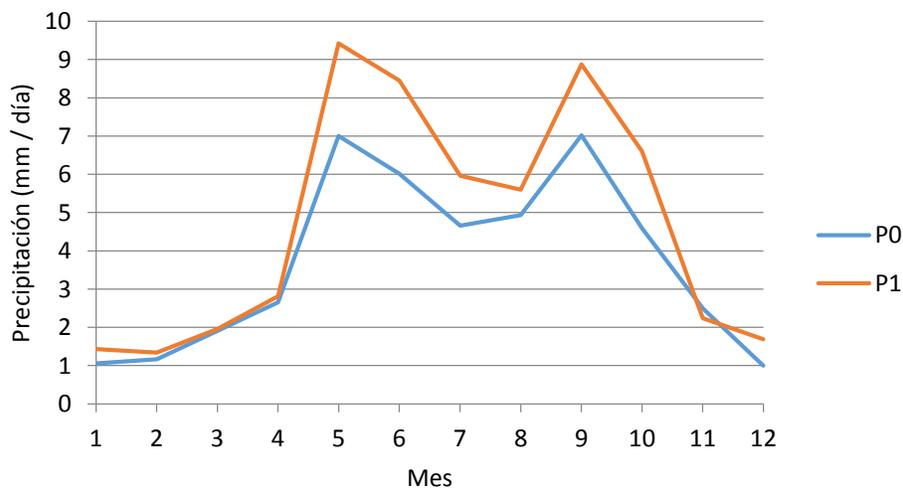


Figura 8. Precipitaciones mensuales medias (P0) en Camagüey para el período 1993 – 2013 y el primer año del conflicto (P1). Medias multianuales

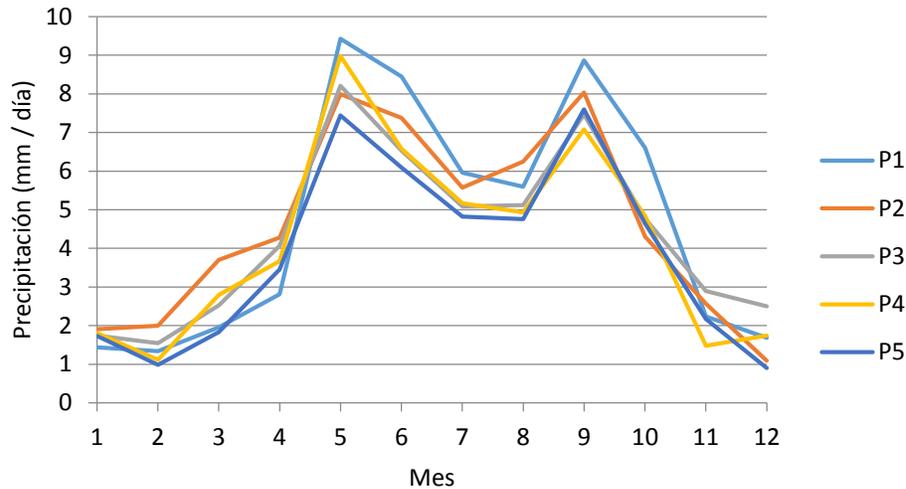


Figura 9. Precipitaciones medias mensuales en Camagüey (P1) para los cinco primeros años del conflicto. Medias multianuales

CONCLUSIONES

Como resultado de la propagación estratosférica de la nube de aerosoles carboníferos derivada del conflicto nuclear de baja intensidad se produce una fluctuación climática sobre la región de estudio que consiste en una caída de las temperaturas y de la radiación solar global media acompañada de un incremento de las precipitaciones.

Los valores medios anuales de la temperatura y la radiación solar no presentan sus valores mínimos en el año del conflicto sino en el año posterior a este manteniéndose por debajo de sus valores medios históricos durante los 10 años de duración de la fluctuación mientras van regresando lentamente a sus valores normales. La precipitación anual sin embargo sí alcanza su valor máximo en el propio año del conflicto manteniéndose superior a sus valores normales durante todo el período.

El análisis de los valores medios mensuales permite apreciar que el impacto del conflicto es ya visible desde el mes de ocurrencia del mismo conllevando cambios bruscos en los valores de

las variables estudiadas en todo el período subsiguiente.

Los cambios ocurridos en la radiación solar global y las precipitaciones no alcanzan a modificar sustancialmente los patrones estacionales de estas variables y de hecho pueden reforzarlos como ocurre con las precipitaciones mensuales durante los primeros cinco años.

Otro es el caso de las temperaturas medias ya que desde el mismo año del conflicto y durante varios años consecutivos desaparece el máximo principal del mes de julio y los valores de la temperatura no rebasan los 25 Celsius durante el verano e incluso pueden ocurrir mínimos secundarios en pleno verano con ocurrencia de valores medios inferiores a los de junio y septiembre. Tales años podrían considerarse como “años sin verano” en analogía con los reportados tras erupciones volcánicas de gran intensidad.

Una secuencia de años más frescos y lluviosos que lo usual para la región de estudio como consecuencia de la fluctuación podrían favorecer los ecosistemas naturales y agrícolas en condiciones de secano.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al Prof. Alan Robock de la Universidad de Rutgers y sus colaboradores por habernos suministrado las anomalías mensuales de temperatura, radiación global y precipitaciones simuladas por el Modelo E de GISS para el punto rejilla ubicado en 22N – 80W que fueron utilizadas en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, 326 p.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. P. 1994. El Clima de Cuba. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
- Marrero, L. 1950. Geografía de Cuba. Talleres Tipográficos ALFA, La Habana, 736 pp.
- Ozdogan, M.; Robock, A. & Kucharik, C. J. 2013. Impacts of a nuclear war in South Asia on soybean and maize production in the Midwest United States. *Climatic Change* (2013) 116: 373–387 pp.
- Pomares, I. 2011. Variaciones de la transparencia atmosférica en Camagüey. VI Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 10 pp.
- Rivero, R. E.; Rivero, Z. I. & Rivero, R. R. 2010. Estudio de Caso: Sur de La Habana. Sector agricultura. Informe Final para la Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, Camagüey, 203 pp.
- Rivero, Z. I.; Rivero, R. E.; Rivero, R. R. & Pomares, I. 2013. Escenarios climáticos para Camagüey como consecuencia de un conflicto nuclear de baja intensidad. III Congreso Internacional de Cambio Climático de la IX Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, 8 - 12 Julio 2013, 17 pp. ISBN 978-959-300-034-5
- Robock, A. & Toon, O. B. 2010. Local nuclear war, global suffering. *Scientific American*, January 2010, 74 – 81 pp.
- Robock, A.; Oman, L. & Stenchikov, G. L. 2007a. Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences. *J. Geophys. Res.*, 112.
- Robock, A.; Oman, L.; Stenchikov, G. L.; Toon, O. B.; Bardeen, C. & Turco, R. P. 2007b. Climatic consequences of regional nuclear conflicts. *Atm. Chem. Phys.*, 7, 2003-2012 pp.
- Toon, O. B.; Robock, A. & Turco, R. P. 2008. Environmental consequences of nuclear war. *Physics Today*, Vol. 61, No. 12, 37 – 42 pp.
- Turco, R. P.; Toon, O. B.; Ackerman, T. P.; Pollack, J. B. & Sagan, C. 1984. Global Atmospheric Consequences of Nuclear War. *Science*, Vol. 222, 1283 – 92 pp.
- Velikhov, Y. (ed.). 1985. The night after: Climatic and biological consequences of a nuclear war. Mir Publishers, Moscow, 165 p.
- Xia, L. & Robock, A. 2013. Impacts of a nuclear war in South Asia on rice production in Mainland China. *Climatic Change* (2013) 116: 357–372 pp.