

Escenarios climáticos para el sector salud en Cuba

Climatic scenarios for the health sector in Cuba

Miriam E. Limia[✉], Pedro Roura-Pérez, Alina Rivero-Valencia

Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

La evaluación de los impactos del cambio climático y el análisis de vulnerabilidad requieren conocer el clima futuro. El objetivo aquí es el desarrollo de escenarios de cambio climático que cumplan con las necesidades de las herramientas que se emplearán en la evaluación a la salud, que en el caso de Cuba posee una metodología propia que requiere especificidades en dichos escenarios. Estos se desarrollaron usando MAGICC/SCENGEN V5.3 (corregida) que contiene las salidas de 20 modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera. Se seleccionaron ocho de estos 20 modelos, tomando como base sus características, con ellos se construyó un “ensemble” multimodelo con la media de la salida de los mismos para el área de Cuba para cada uno de los escenarios de emisiones considerados: A1MES y B2MES. Los escenarios se desarrollaron para las variables temperatura media del aire, presión atmosférica y precipitación a escala mensual y anual con un corte temporal en los años 2020 y 2030 por los intereses del sector salud. Se muestran los cambios observados para cada una de las celdas de 2.5° por 2.5° en cada variable y el análisis de sus tendencias que concluye con tendencias positivas en temperatura y negativas en presión y precipitación.

Palabras clave: escenarios climáticos, clima futuro, cambio climático, modelos de clima futuro

Abstract

Assessing the impacts of climate change and vulnerability analysis requires knowing the future climate. The objective here is the development of scenarios of climate change that meet the needs of the tools that will be used in health assessment, which in the case of Cuba has its own methodology that requires specificities in these scenarios. These were developed using MAGICC / SCENGEN V5.3 (corrected) containing the outputs of 20 ocean-atmosphere coupled general circulation models. Eight of these 20 models were selected, based on their characteristics, with which they built a multimodel ensemble with the mean of their output for the Cuban area for each of the emission scenarios considered: A1MES and B2MES. The scenarios were developed for the variables average air temperature, atmospheric pressure and precipitation on monthly and annual scale with a temporal cut in the years 2020 and 2030 by the interests of the health sector. The observed changes for each of the cells of 2.5° by 2.5° in each variable and the analysis of their tendencies are shown, concluding with positive trends in temperature and negative in pressure and precipitation.

Keywords: climate scenarios, future climate, climate change, future climate models

[✉] Autor para correspondencia: *Miriam E. Limia*. E-mail: miriam.limia@insmet.cu

Recibido: 27 de octubre de 2017

Aceptado: 19 de abril de 2017

Introducción

El clima, según el Vocabulario Meteorológico Internacional, *es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evolución del tiempo en una porción determinada del espacio*. Entre las ideas que encierra este concepto se encuentra aquella que refleja al clima como una expresión del comportamiento de la atmósfera, por lo cual la composición química de la atmósfera tiene una repercusión en el estado del clima, más aun al tratarse de la presencia en la atmósfera de gases de efecto invernadero. El efecto invernadero siempre ha estado presente en la atmósfera terrestre, ya que es el vapor de agua el gas de mayor efecto invernadero. Sin la presencia del vapor de agua la temperatura en la Tierra estaría 33° C más fría y la vida sería muy diferente. Este efecto es conocido como efecto invernadero natural, al cual contribuyen además otros gases que se producen de forma natural como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

El clima de la Tierra está asociado también, con la superficie terrestre ([Arrastía & Limia 2011](#)). Esta superficie no es homogénea, en ella se encuentran grandes extensiones de tierra, mares y océanos, regiones con hielos perennes y están presentes también los organismos vivos que se encuentran en ella. Todo este conjunto forma el llamado sistema climático, el cual está formado por cinco componentes: atmósfera, litosfera, hidrosfera, criosfera y biosfera. Dichos componentes o subsistemas interactúan entre sí y tienen a la radiación solar como única fuente importante de energía que mueve al sistema ([Houghton et al., 1997](#)).

Con el desarrollo industrial las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera han ido en aumento, provocando un cambio en el balance energético de la misma lo que conlleva a un aumento en la temperatura de las capas más bajas. En el cuarto informe de evaluación del IPCC ([Solomon et al., 2007](#)),

se precisa que las evidencias disponibles, a partir de los resultados de mediciones y modelos, confirman que la mayor parte del incremento observado en la temperatura media de la superficie terrestre, desde el último siglo, es muy probable sea debido al incremento de las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero de larga vida (GEILV) derivados de las actividades humanas.

El resultado de las perturbaciones antropogénicas sobre el sistema climático puede proyectarse o modelarse si se calculan todos aquellos procesos principales que actúan en el sistema climático mediante formulaciones matemáticas, sustentadas en principios físicos bien establecidos, conocidas como modelo climático.

Las evaluaciones de impactos del cambio climático, así como de la vulnerabilidad al mismo requieren del conocimiento previo de cuál será el clima futuro. El proceso de elaboración de las características del clima futuro (proyecciones) se conoce como creación o construcción de escenarios climáticos.

Los escenarios de cambio climático, según [Viner & Hulme \(1992\)](#), pueden definirse como: “Una representación del clima futuro que es internamente consistente, que ha sido construida empleando métodos basados en principios científicos y que puede ser utilizada para comprender las respuestas de los sistemas medio ambientales y sociales ante el futuro cambio climático”.

Existe una gran variedad de métodos para crear los escenarios de cambio climático. De acuerdo con [Parry & Carter \(1998\)](#), estos pueden ser agrupados en: *sintéticos* (conocidos también como arbitrarios), *análogos* y aquellos basados en los resultados de los *modelos de circulación general (MCG)*. De entre ellos, la forma más utilizada es la de los MCG, debido a que ellos son la mejor herramienta científica para proyectar el clima futuro ([Benioff et al., 1996](#)).

Con frecuencia se requiere de una mayor resolución espacial que la brindada por la salida de los modelos Globales, por lo que se

han desarrollado varias técnicas para lograr esta reducción de escala. Estas técnicas se agrupan en la combinación de la salida de los modelos con las observaciones históricas, la reducción de escala estadística y los modelos climáticos regionales.

Materiales y Métodos

Los modelos de circulación general presentan algunas limitaciones para su uso. Por ejemplo, la resolución espacial de las rejillas sobre las cuales realizan los cálculos y muestran sus salidas, es muy baja. Otra limitante de consideración es que los gastos de recursos que implica la ejecución de las simulaciones, impide realizar experimentos bajo diferentes supuestos de forzamientos (p. ej. emisiones de gases de efecto invernadero).

Se han elaborado diferentes metodologías que, utilizando los resultados de los MCG, permiten solucionar las dificultades antes expresadas. Entre ellas se encuentra la combinación de los resultados de modelos climáticos simples (MCS) con las salidas de los MCG que permite considerar una amplia gama de suposiciones sobre las emisiones futuras de gases de efecto de invernadero. Utilizando ecuaciones muy sencillas los MCS son capaces de simular la respuesta del clima global en términos de temperatura media y ascenso del nivel del mar.

La idea de combinar los MCS con los MCG fue desarrollada por [Viner & Hulme \(1992\)](#), para crear los escenarios de cambio climático en Europa utilizando el STUGE (Sea-level and Temperatura Greenhouse Effect), y desarrollada posteriormente por [Hulme, 1995](#) en los paquetes de programas MAGICC y SCENGEN.

MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change), utiliza un modelo climático unidimensional de difusión –afloramiento y balance de energía que brinda estimaciones de las concentraciones de gases de efecto invernadero, temperatura media global y elevación del nivel del mar entre los años 1990 y 2100. Este modelo climático unidimensional fue desarrollado

originalmente por [Hoffert et al. \(1981\)](#). Una explicación detallada de cómo opera un modelo climático puede encontrarse en [Harvey et al. \(1997\)](#).

SCENGEN (SCENario GENerator) combina los resultados de MAGICC con los de un amplio grupo de MCG para producir escenarios de cambio climático regionales en términos de temperatura y precipitación. Esta combinación la realiza mediante un proceso de normalización de los resultados de cada MCG en base a la sensibilidad climática propia de cada modelo y la posterior reconstrucción de los valores a partir de la temperatura media global reportada por MAGICC. Además, se unifican las salidas de los MCG en celdas de 2.5° Lat. x 2.5° de Long.

El uso de la combinación MAGICC/SCENGEN permite investigar con rigor científico y un alto nivel de eficiencia desde, el punto de vista computacional, la influencia de diferentes escenarios de emisión y de otros elementos como la sensibilidad climática. En la versión utilizada 5.3 (corregida) [\(Wigley, 2008\)](#), además de SCENGEN dar los resultados en celdas de 2.5 ° Lat x Long, se puede analizar también, el cambio en variabilidad mediante la razón de la señal de ruido entre modelos (donde la “variabilidad” está determinada por la desviación estándar interanual calculada para un período de 20 años). En esta versión se utiliza una nueva base de observaciones para la temperatura proveniente del conjunto de datos de reanálisis del European Centre for Medium-range Weather Forecasting’s (ECMWF), ERA40. Para la precipitación utiliza la versión del CMAP con un paso de rejilla de 2.5 ° Lat x Long.

MAGICC se corrió con los escenarios de emisiones A1MES como escenario de referencia y el B2MES como el escenario activo, considerando los siguientes parámetros de modelo para el control del forzamiento: El ciclo medio del carbono, las retroalimentaciones en el ciclo climático, el forzamiento medio de los aerosoles, la sensibilidad de 3.0° C, la circulación termohalina variable, la difusión vertical de

2.3cm²/seg. y la fusión del hielo media.

El escenario de emisiones SRES A1MES describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido y una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficaces; la población mundial alcanza su nivel más alto a mitad del siglo y disminuye posteriormente. Hay una disminución sustancial de las diferencias regionales en cuanto al ingreso per cápita. El SRES B2 MES describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, con niveles medios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más variados que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y la equidad social, se centra en los niveles local y regional.

El SCENGEN se corrió para el área del Caribe definida por un dominio que abarca el área comprendida desde 102.5° W a 57.5° W y desde 32.5 ° N a 10° N, que conforma una rejilla de 18 x 9 puntos con un paso de rejilla de 2.5° Lat x 2.5 ° Long , que hacen un total de 162 puntos. Se tomaron los cambios respecto la media del período 1961-1990 para la temperatura y la precipitación considerando los aerosoles bajo la def.2 con escalamiento lineal sin suavizado y sin sobrescribir. De la información obtenida para el Caribe se extrajo una subrejilla con la información de Cuba la cual está conformada por 18 celdas. Esta combinación ha sido la empleada aquí para la construcción de las proyecciones del clima futuro. En total se hicieron 252 corridas del modelo y se crearon 8064 ficheros.

Desde la versión 4.1 del MAGICC/SCENGEN se da la posibilidad de

seleccionar varios modelos y obtener como resultado el valor medio de la salida de los modelos seleccionados. Esta facilidad se empleó en la generación del escenario climático conformando un modelo “ensemble” formado por una media multimodelo de ocho de los 20 modelos de SCENGEN, siguiendo la terminología de [Knutti \(2010\)](#). Los modelos escogidos para conformar el “ensemble” fueron ocho a saber, BCCR-BCM2.0, CCSM3, CNRM-CM3, ECHAM5_MPI-OM (MPIECH-5), GFDL-CM (2.0), MIROC3.2 HI, MRI-CGCM2.3.2 y UKMO-HadCM3. La tabla 1, muestra las principales características de los modelos. La selección se hizo principalmente por el año de corrida de los modelos, considerando diversidad en los esquemas de interpolación y parametrización, en el número de niveles, así como en la frecuencia del acople entre los modelos atmosféricos y oceánicos.

El alcance temporal de los escenarios, en el caso del sector de la salud humana este no debe ser muy lejano debido a que las políticas de este sector se trazan para períodos entre 10 y 20 años, por lo que se escogieron los años 2020 y 2030, con el fin de ser aplicados en las políticas, tanto para la adaptación, como para las de prevención de riesgos.

El análisis de los cambios para Cuba se realizó longitudinalmente tomando en consideración la forma estrecha y alargada del archipiélago cubano. Para ello se promediaron por latitud los valores dados por las celdas de SCENGEN que caen sobre el archipiélago cubano.

Se realizó también un análisis de tendencia global de la serie proyectada por el “ensemble” desde 2001 al 2020, mediante las pruebas de Spearman y Mann – Kendall ([Sneyers, 1990](#)) y la herramienta Winstat ([Meyado & Borrajero, 1997](#)).

Tabla 1. Principales características de los modelos seleccionados para la creación del escenario climático

AOGCM	Institución	País	Año	Sensibilidad al 2xCO2
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research	Norway	2005	NE
CCSM3	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	USA	2005	0,27
CNRM-CM3	Centre National de Recherches Météorologiques	France	2004	NE
ECHAM5_MPI-OM (MPIECH-5)	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	2005	0.835 (estimado desde experimentos “slab ocean”: DT=3.35K
GFDL-CM (2.0)	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory NOAA	USA	2005	1,6 K en transiente 1%, 2.9K para el doble de CO2 en un modelo “slab”
MIROC3.2 HI	CCSR/NIES/FRCGC	Japan	2004	1.4 KW-1m2 experimento “slab ocean”
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute	Japan	2003	0.86 K/(Wm ⁻²), el cual se estima desde un “slab ocean” 2xCO2 experimento de equilibrio
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research	United Kingdom	2000	0,83

Tabla 1. Principales características de los modelos seleccionados para la creación del escenario climático. Continuación

AOGCM	Resolución	Atmósfera	Niveles
		Esquema numérico/ rejilla	
BCCR-BCM2.0	T63L31: Una truncación triangular T63 con rejilla Gaussiana reducida "lineal" equivalente a T42 rejilla cuadrática (2.8 °)	Semi-lagrangiano, tiempo de interpolación semi-implícito con paso de tiempo de 30 min, paso de tiempo de 3 horas para la transferencia radiativa; capa tope 10 hPa, coordenada vertical progresiva híbrida sigma-presión	31 capas
CCSM3	Resolución lateral desde número de ondas 85 truncación triangular espectral de la dinámica. En el ecuador, la resolución espacial es aproximadamente 1.4 grados	Transformación Spectral, con trazador de transporte semi-Lagrangiano. tope del Modelo: 2.2 hPa. 13 capas por encima de 200 hPa. 4 capas por debajo de 850 hPa-	26 capas
CNRM-CM3	Truncación triangular T63 con rejilla Gaussiana "linear" reducida equivalente a la rejilla cuadrática T42 (2.8 °)	Semi-lagrangiano, tiempo de interpolación semi-implícito con paso de tiempo de 30 min, paso de tiempo de 3 hour para la transferencia radiativa. Capa tope 0.05 hPa, coordenada vertical progresiva híbrida sigma-presión. 23 capas por encima de 200 hPa, usualmente 7 capas por debajo de 850 hPa	45 capas
ECHAM5_MPI-OM (MPIECH-5)	T63 L31	Spectral, semi-implícito/leap-frog, nivel tope en 10 hPa, 9 niveles por encima de 200 hPa, 5 niveles por debajo de 850 hPa	-
GFDL-CM (2.0)	2.5 ° long, 2.0 ° lat	Coordenadas verticales Hybrid sigma-pressure, 5 niveles por encima de 200 hPa, tope en 3 hPa, 8 niveles por debajo de 850 hPa con dos niveles de diferencia en el tiempo, ondas gravitatorias forward backward stepping (Mesinger, 1977); los pasos de tiempo son 200 s/600 s/1800 s	24 capas
MIROC3.2 HI	T106 L56	Método de transformación Spectral excepto para tracer advection. Esquema de diferencias finitas con Método Piecewise Parabolico (PPM). Time-stepping: leap-frog. Tope del modelo: 40Km. Niveles por encima de 200hPa: 29, por debajo de 850hPa: 10.	más de 45 capas
MRI-CGCM2.3.2	Resolución horizontal: T42 (approx. 2.8 grados)	Método de transformación Spectral, esquema time-stepping: leap-frog, semi-implícito con Asselin time filter, tope del modelo: 0.4 hPa, coordenada vertical: sigma-pressure hybrid, 16 layers above 200 hPa, 5 layers below 850 hPa	30 capas
UKMO-HadCM3	2.75 ° long, 3.75 ° lat	Modelo hidrostático, punto de rejilla usando una rejilla Arakawa B y coordenadas verticales híbridas. Esquema de advección Euleriano	-

Tabla 1. Principales características de los modelos seleccionados para la creación del escenario climático. Continuación

AOGCM	Resolución	Océano Esquema numérico/ rejilla	Niveles
BCCR-BCM2.0	Celdas de rejilla aproximadamente cuadradas con 1.5° de espaciamento horizontal de rejilla en el ecuador. Cerca del Ecuador el espaciamento meridional decrece gradualmente hasta 0.5° en el ecuador.	Rejilla Arakawa C	35 capas verticales
CCSM3	Un grado nominal de desplazamiento hacia el polo de la rejilla horizontal. Resolución en el ecuador 1.125° x 0.27°. Puntos de rejilla horizontales 320x384. Polo Norte en Groenlandia	Advección de tercer orden "upwinding". Tres niveles de tiempo con paso de tiempo "leapfrog" modificado de segundo orden.	40 niveles verticales
CNRM-CM3	Rejilla de 182 x 152 (con resolución de aprox. 2° de longitud, y resolución variando en latitud desde cerca de 0.5° en el ecuador hasta 2° en las regiones polares)	Rejilla Arakawa C, Esquema de advección: "upstream". 15 pasos de tiempo por día. Coordenada z	31 niveles verticales con 10 niveles por encima de 100 m
ECHAM5_MPI-OM (MPIECH-5)	1.5 grados, rejilla de mapeo conforme con la rejilla polar sobre Groenlandia y la Antártica	Rejilla C, solución semi-implicita para la parte barotrópica, superficie libre, fresh water flux, coordenada z con celdas parciales	40 niveles verticales
GFDL-CM (2.0)	° long, 1° lat con ensanchamiento de la resolución en el trópico (1/3 en el ecuador)	Advección de 3er-orden con limitadores de flujo	
MIROC3.2 HI	0.28125 grados en longitud, 0.1875 grados en latitud	Esquema de advección de preservación de momentum "pseudo-entropy". Híbrido de sigma y z, con la coordenada sigma por encima de 50 m	47 niveles verticales
MRI-CGCM2.3.2	2.5 grados (longitud) x 2.0 grados (latitud, hacia los polos de 12S y 12N) ~ 0.5 (4S-4N)	Rejilla Arakawa B, esquemas de tiempo leap-frog y Matsuno, coordenada vertical z	-
UKMO-HadCM3	1.25° x 1.25°	Paso de tiempo de 1-hora, solución barotrópica estándar "rigid-lid", flujo salino virtual con salinidad estándar de 35 PSU	-

Tabla 1. Principales características de los modelos seleccionados para la creación del escenario climático. Continuación

Hielos marinos		Detalles del acoplamiento	
Resolución	Esquema numérico/ rejilla	Niveles	paso tempo-real
BCCR-BCM2.0	La rejilla consiste en una celda cada 4 celdas del océano.	Rejilla Arakawa B	Una vez por día
CCSM3	Rejilla gx1v3 (nominalmente 1 grado, rejilla polar desplazada. (Ver la resolución del oceano)	Esquema de advección – “incremental remapping”	océano acoplado una vez por día, atm/Ind/ice acoplado una vez por hora
CNRM-CM3	Rejilla de 182 x 152 (con resolución de alrededor de 2° en longitud, y variando en latitud desde cerca de 0.5° en el ecuador hasta cerca de 2° en las regiones polares)	Esquema de advección: semi-lagrangiano (desde modelo CICE). Esquema de paso temporal: en general “leap frog”	24 horas
ECHAM5_MPI-OM (MPIECH-5)	1.5 grados, rejilla de mapeo conforme con la rejilla polar sobre Groenlandia y la Antártica	Rejilla C como en el océano, implícita, advección “upwind”	Diariamente (atmosfera y océano/hielo marino)
GFDL-CM (2.0)	° lon, 1 ° lat con resolución tropical aumentada (1/3 en el ecuador)	Rejilla B diferenciada; advección “upstream”	Acoplamiento atmosfera-océano cada 2 horas.
MIROC3.2 HI	0.28125 grados en longitud y 0.1875 grados en latitud	Esquema de Segundo orden centrado. Esquema temporal “leap-frog”	3 horas
MRI-CGCM2.3.2	2.5 grados (longitud) x 2.0 grados (latitud)	Rejilla Arakawa B, Tiempo: “forward differencing”	24 horas
UKMO-HadCM3	1.25° x 1.25°	-	-

Resultados y Discusión

Proyecciones del clima futuro

Los escenarios para el sector de la salud en Cuba requieren de la conformación de una serie temporal desde el último año de la línea base hasta el año base de la proyección ya que las metodologías de los índices utilizados están basadas en series temporales.

Las proyecciones se modelaron para los dos escenarios de emisiones seleccionados y las tres variables: temperatura, precipitación y presión atmosférica todas para el nivel de superficie, en sus valores anuales año por año, para el 2020 y el 2030 se obtuvieron además, los valores mensuales de las tres variables antes mencionadas.

Las [figuras 1, 2, 3](#) muestran los cambios mensuales de la temperatura dados por el “ensemble” para el año 2020 para las diferentes longitudes, en las mismas puede observarse que se proyectan los menores cambios para el mes de marzo con una marcada diferencia respecto a la mayoría de los meses, la cual se mantiene al desplazarse de oeste a este (hacia las longitudes menores). Los mayores aumentos se proyectan para el mes de noviembre, pero con menor diferencia respecto a la mayoría de los meses. En general, se proyectan aumentos de temperatura más marcados en el verano que en el invierno con las excepciones de los meses de abril y noviembre con aumentos mayores al resto de los meses de su temporada y mayores que mayo que es el de menores valores de los meses de verano.

En la precipitación se observan aumento y disminución tanto en el período lluvioso como en el período poco lluvioso. En todas las celdas se proyectan disminuciones en los meses de febrero, junio, julio y agosto y aumentos en los meses de noviembre y mayo, este último con la excepción de la celda más oriental donde se proyecta una pequeña disminución. En esta celda más oriental se proyectan disminuciones en todos los meses del período lluvioso.

En la presión los cambios proyectan aumento para la mayor parte del año,

observándose los mayores aumentos en los meses de junio y julio en todas las longitudes, como se observa en la [figura 3](#). Disminuciones en la presión se proyectan para los meses de octubre y noviembre en todas las longitudes.

Las variaciones interanuales proyectadas por el “ensemble” para el año 2020 muestran una tendencia estadísticamente significativa al aumento al nivel de significación del 5% en las variables temperatura y presión y a la disminución al mismo nivel de significación en la precipitación. Las [tablas 2 y 3](#) muestran los valores del estadígrafo y la regla de decisión de dichas pruebas.

La [figura 4](#) muestra la serie temporal de los cambios proyectados para la temperatura. En la misma se puede apreciar la línea de tendencia lineal con un alto coeficiente de determinación.

En dicha figura puede observarse la marcada tendencia al aumento detectada por las pruebas de Spearman y de Mann a las que se hace referencia anteriormente.

La [figura 5](#) muestra la serie temporal de los cambios proyectados para la presión. Al igual que en la temperatura se puede apreciar la línea de tendencia lineal con un alto coeficiente de determinación en correspondencia con lo detectado en las pruebas estadísticas realizadas.

La [figura 6](#) muestra la serie temporal de los cambios proyectados para la precipitación. En esta variable la línea de tendencia es decreciente en forma parabólica con un alto coeficiente de determinación en correspondencia con lo detectado en las pruebas estadísticas realizadas.

Conclusiones

Los escenarios creados muestran tendencias positivas (al aumento) en las variables temperatura y presión y tendencias negativas en la precipitación para todas las celdas que caen sobre Cuba, lo que guarda correspondencia con el hecho de que las altas presiones son desfavorables para los procesos de formación de precipitación.

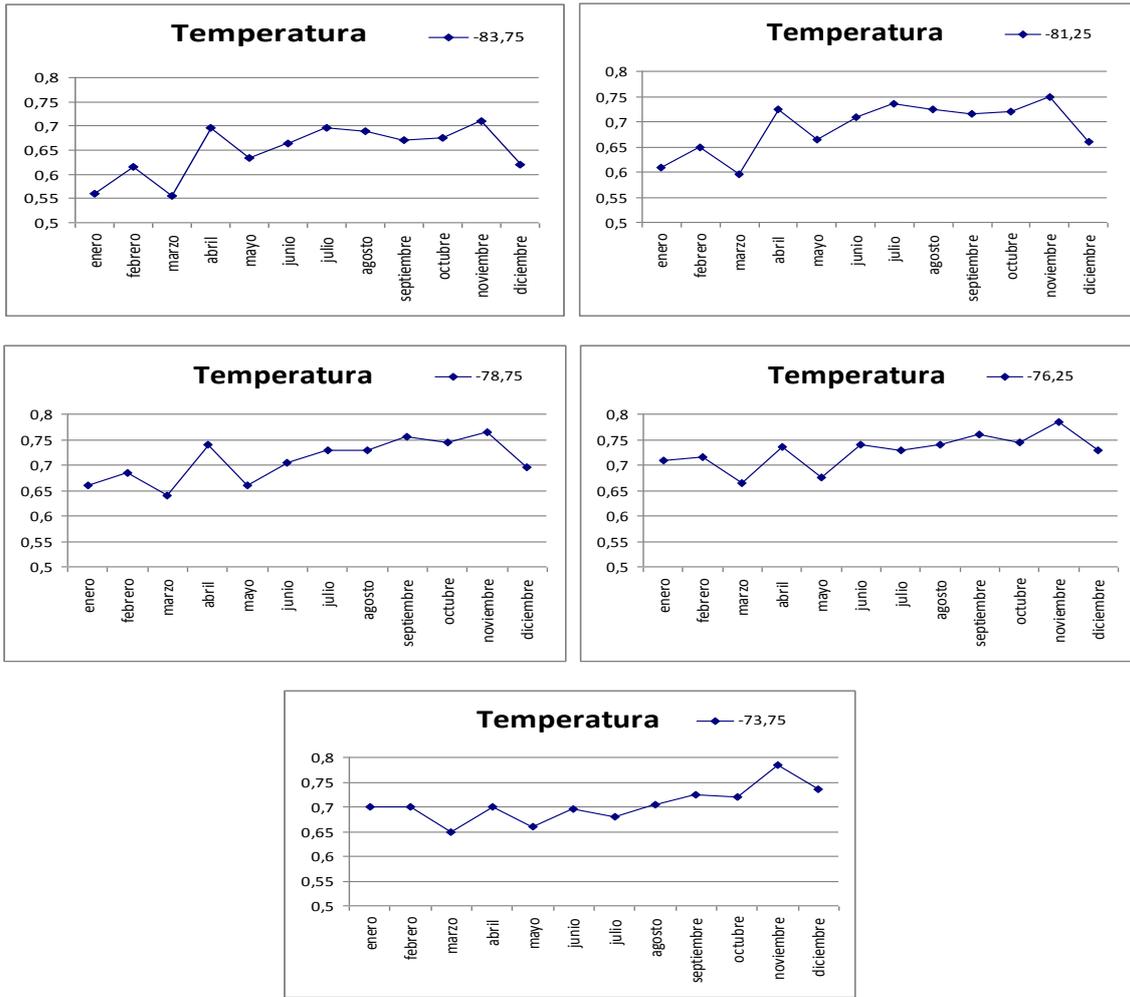
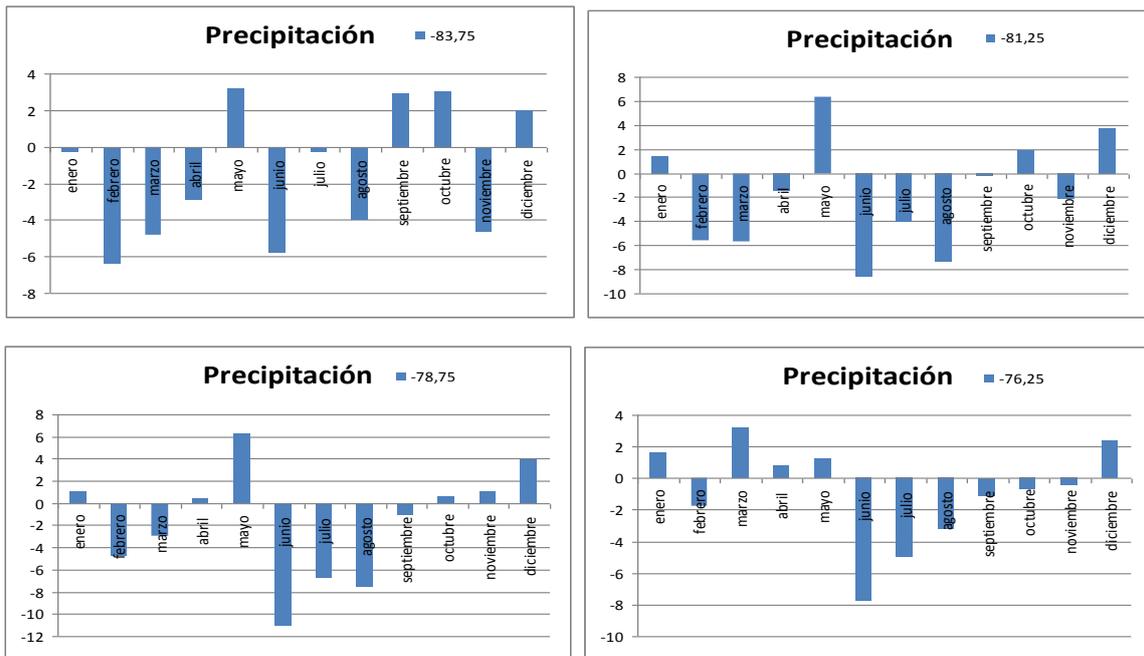


Figura 1. Cambios proyectados en la temperatura para Cuba en el año 2020 por longitud



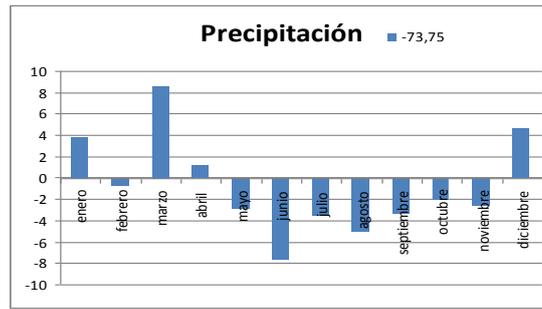


Figura 2. Cambios proyectados en la precipitación para Cuba para el año 2020 por longitud

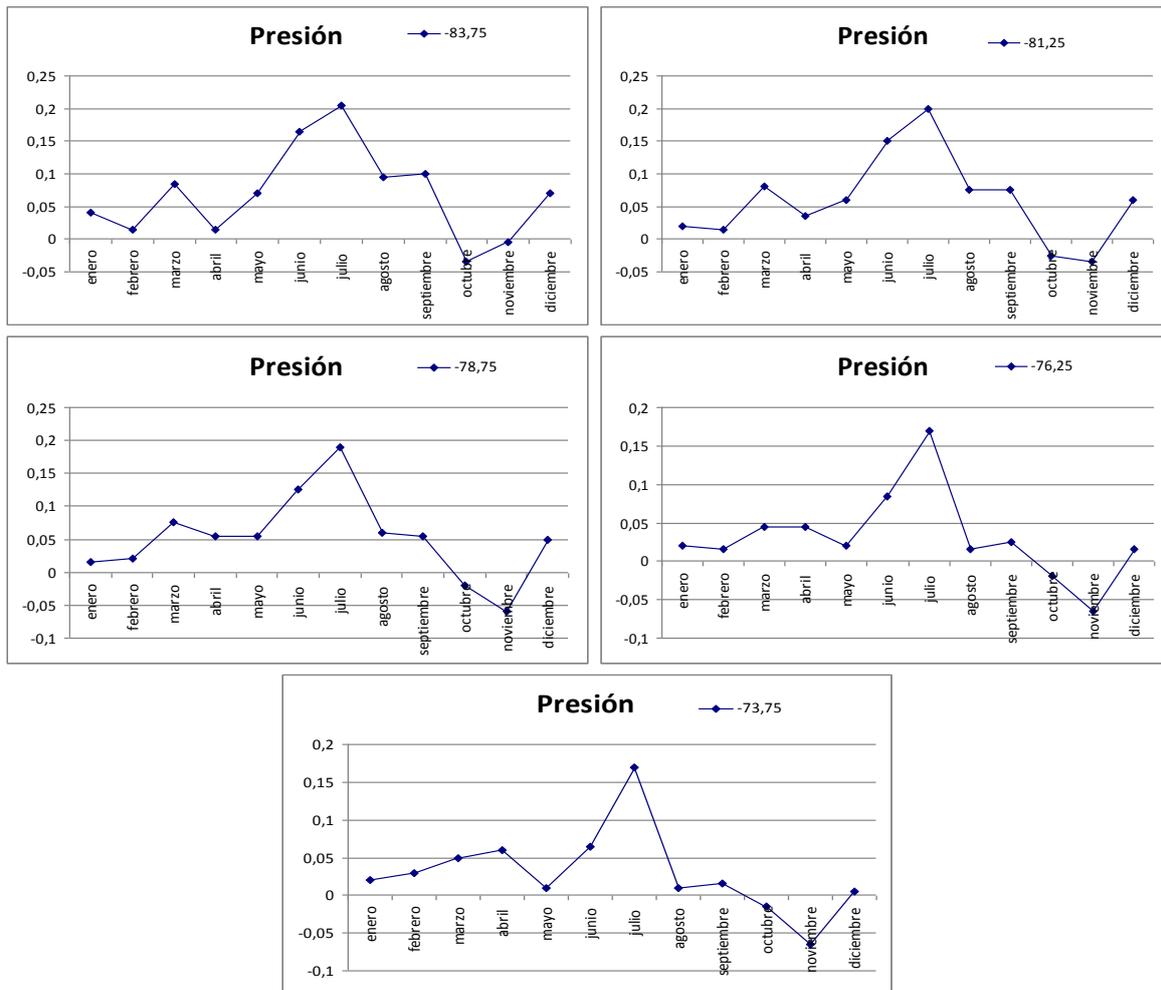
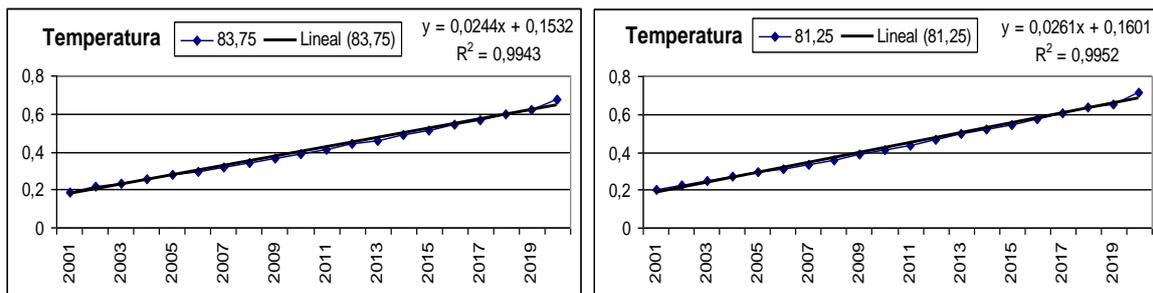


Figura 3. Cambios proyectados en la presión para Cuba para el año 2020 por longitud



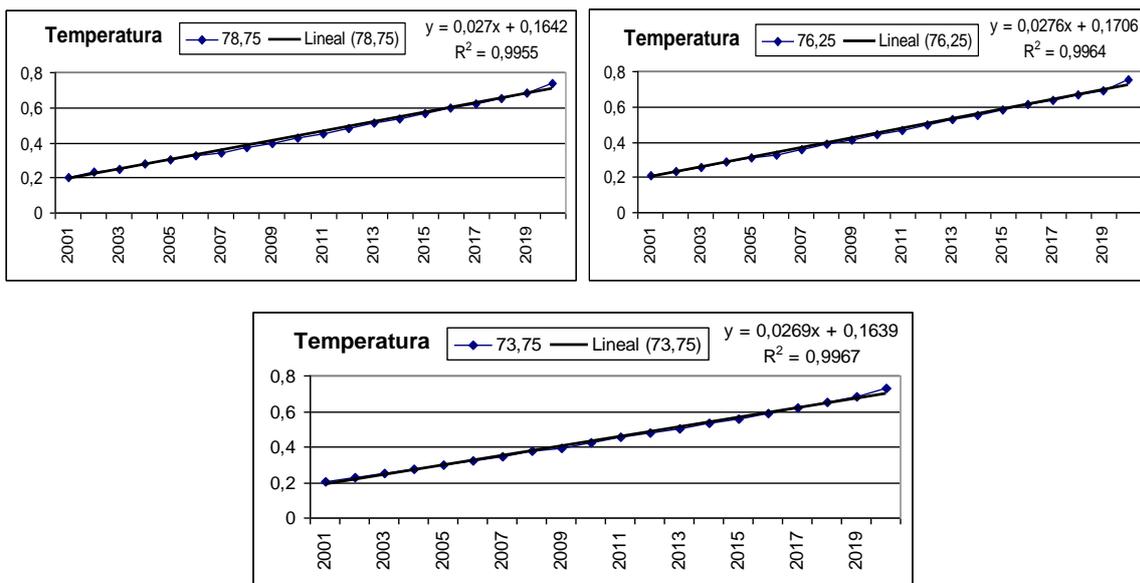


Figura 4. Serie temporal de cambios proyectados de la temperatura respecto al período 1961-1990 para el año 2020

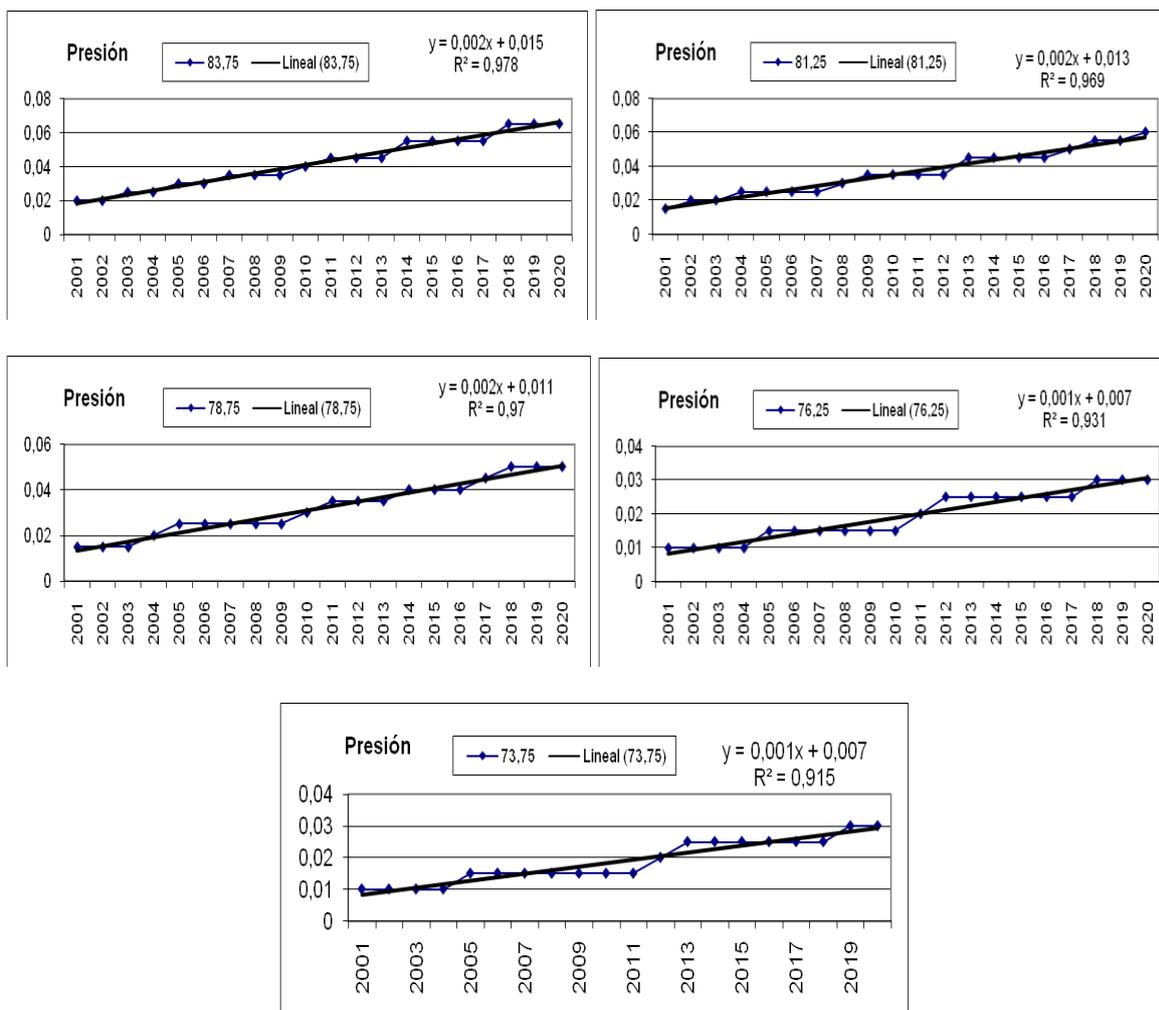


Figura 5. Serie temporal de cambios proyectados de la presión respecto al período 1961-1990 para el año 2020

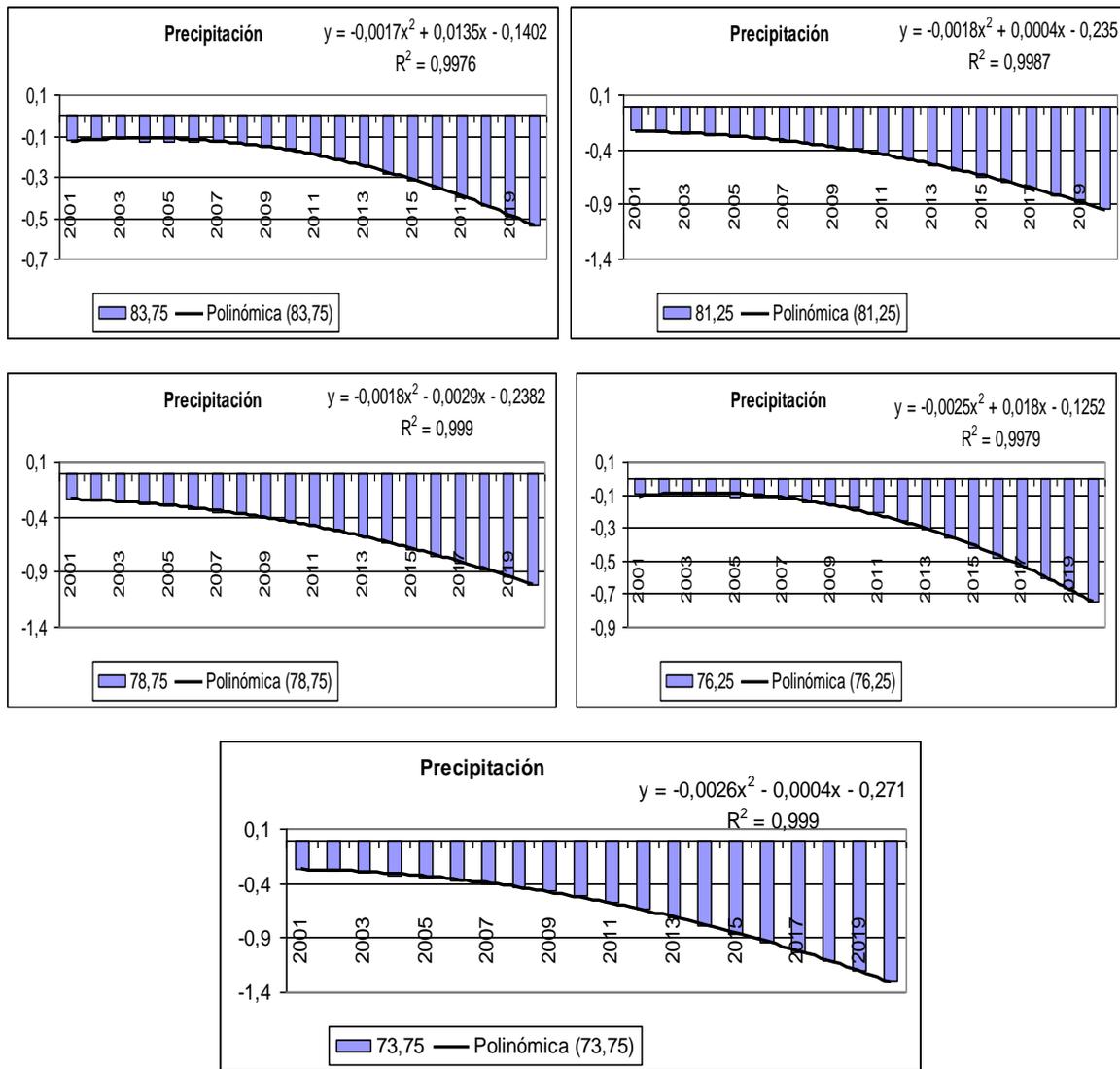


Figura 6. Serie temporal de cambios proyectados de la precipitación respecto al período 1961-1990 para el año 2020

Tabla 2. Resultados y regla de decisión de las pruebas de Spearman y Mann para la tendencia en la serie de cambios anuales proyectados para la temperatura por longitudes para Cuba

Longitud media de la celda	Temperatura			
	Prueba de Spearman	Regla de decisión	Prueba de Mann	Regla de decisión
83,75	4.358899	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	6.164414	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
81,25	4.242641	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.982533	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
78,75	4.123106	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.795288	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
76,25	4.000000	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.602197	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
73,75		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$

Tabla 3. Resultados y regla de decisión de las pruebas de Spearman y Mann para la tendencia en las series de cambios anuales proyectados para la precipitación por longitudes para Cuba

Longitud media de la celda	Precipitación			
	Prueba de Spearman	Regla de decisión	Prueba de Mann	Regla de decisión
83,75	-4.314654	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	-5.904860	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
81,25	-4.358899	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	-6.164414	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
78,75	-4.358899	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	-6.164414	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
76,25	-4.353983	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	-6.131970	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
73,75		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$

Tabla 4. Resultados y regla de decisión de las pruebas de Spearman y Mann para la tendencia en las series de cambios anuales proyectados para la presión por longitudes para Cuba

Longitud media de la celda	Presión			
	Prueba de Spearman	Regla de decisión	Prueba de Mann	Regla de decisión
83,75	4.317932	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.580417	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
81,25	4.306461	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.515528	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
78,75	4.299906	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	5.450640	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
76,25	4.221250	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$	4.899087	$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$
73,75		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$		$\alpha_1 = 0.0000 < \alpha_0 = 0.0500$

Referencias

- Arrastía M. y M. Limia, 2011: "Energía y Cambio climático", Editorial Academia, Cuba, 247 pp.
- Benioff, R., S. Guill and J. Lee, eds., 1996: Vulnerability and adaptation assessments: An international Handbook. Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers, 320pp.
- Harvey, D., J. Gregory, M. Hoffert, A Jain, M. Lal, R. Leemans, S. Raper, T. Wigley, and J. de Wolde, 1997: An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report, IPCC Technical Paper II, Intergovernmental Panel of Climate Change, Geneva, Switzerland, 47 pp.
- Hoffert, M. I., A. J. Callegari y C.-T. Hsieh, 1981: A box-diffusion carbon cycle model with upwelling, polar bottom water formation and a marine biosphere. In: Carbon Cycle Modeling, SCOPE 16, B. Bolin (ed.), John Wiley and Sons, New York, págs. 287-305.
- Houghton J. T., L. G. M. Filho. D. J. Griggs y K. Maskell, eds., 1997: Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC, 60pp.
- Hulme, M., Raper, S.C.B. and Wigley, T.M.L. (1995) An integrated framework to address climate change (ESCAPE) and further developments of the global and regional climate modules (MAGICC) Energy Policy, 23, 347-355.
- Knutti, R., G. Abramowitz, M. Collins, V. Eyring, P.J. Gleckler, B. Hewitson, and L. Mearns, 2010: Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K.

- Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)). IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.
- Mellado E. e I. Borrajero, 1997: Programa para el cálculo de índices de tendencia en series temporales, versión 2.0 (Beta).
- Nakicenovic, N. and R. Swart (eds.), 2000: IPCC Special Report on Emissions Scenarios
- Parry M y Carter T (1998) Climate impact and adaptation assessment: A Guide to the IPCC Approach. Earthscan Publications Ltd, London.
- Solomon, S., Dahe Qin and Manning, M. (Coordinating Lead Authors), together with 28 Lead Authors and 18 Contributing Authors), 2007: Technical Summary. (In) Climatic Change 2007: The Physical Basis (S. Solomon, D Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, M., K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 19–91.
- Sneyers R., 1990, “On the statistical analysis of series of observations”, Techn. Note 143, World Meteorological Organization, Geneva, 192 p.
- Vinner D. and Hulme M., 1992: Construction of climate change scenarios by linking GCM and STUGE output. Technical Note No. 2, Climate Impacts LINK Project, Climate Research Unit, University of East Anglia, 20pp.
- Viner, D. and M. Hulme, 1997: The Climate Impacts LINK Project: Applying Results from the Hadley Centre's Climate Change Experiments for Climate Change Impacts Assessment. Climatic Research Unit, Norwich, UK, 17 pp.
- Wigley, T.M.L, 2008: MAGICC/SCENGEN 5.3 User Manual (version 2). NCAR, Boulder, CO, 14 pp.