

Escenarios de cambios climáticos para Camagüey, Cuba

Roger R. Rivero Jaspe y Roger E. Rivero Vega.

Centro Meteorológico de Camagüey
Carretera de Nuevitas, km 7 ½
Camagüey, Cuba, Apdo 160, CP 70100
Tfno.: (53-32) 261103, 261284
Email (Autor principal): rogerjr@met.cmw.inf.cu

1. Introducción.

En el período 1997 – 1999 se desarrolló en Cuba el primer proyecto nacional de estudio del impacto del cambio climático y medidas de adaptación dentro del marco de los programas internacionales de estudios de caso a nivel de países y del Programa Nacional de Ciencia y Técnica “Los Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano” (INSMET, 1999). Este proyecto permitió elevar nuestros conocimientos en el campo de la modelación biofísica de cultivos, la generación de escenarios climáticos y el estudio de la influencia del cambio global sobre diferentes sectores de la economía y la actividad humana en general. Los resultados alcanzados elevaron el prestigio de nuestro país en el área del Caribe y a nivel mundial.

En la actualidad contamos con herramientas más sofisticadas y documentación más actualizada que nos permitirá explorar en los sectores que no pudimos desarrollar anteriormente. Contamos además con las bases de datos diarias por períodos de 20 años de otras estaciones que no estaban disponibles en el estudio anterior y que permitirán considerar el efecto de las diferencias climáticas entre las costas y el centro de la provincia.

Durante las últimas cuatro décadas han ocurrido importantes variaciones climáticas en Cuba. Nuestro clima se ha tornado más cálido. La temperatura media anual ha aumentado en casi 0.5 °C (Naranjo y Centella, 1998) con los períodos más cálidos en las décadas de los '80 y los '90. Los registros de precipitaciones de largos períodos sin embargo no han mostrado tendencias significativas, sin embargo sí ha ocurrido un aumento de las precipitaciones en el período seco y una disminución en

el lluvioso que llega incluso a dividir en dos o tres el período de crecimiento de los recursos forestales (Rivero *et al.*, 1998). Este efecto ha traído como consecuencia un aumento de la sequía meteorológica desde 1960 y sugiere que están ocurriendo cambios en los patrones de precipitación anual (Lapinel *et al.*, 1993).

Dada la necesidad de una proyección al futuro para evaluar los posibles daños que estas tendencias traerán como consecuencia para nuestra actividad económica, agrícola y social en general, así como para identificar las medidas de adaptación que se deben adoptar, se hace necesaria la realización de estudios de impacto como el que desarrollamos en la actualidad.

Un punto clave en cualquier estudio de cambio climático es la construcción de los escenarios que describen el clima futuro. Un escenario climático es el resultado que se obtiene de una serie de pasos donde se tiene en cuenta distintas variantes de múltiples factores que afectan las emisiones de gases de efecto invernadero y los aerosoles (IPCC, 1994; IPCC, 2000; IPCC 2001), tal como describiremos más adelante.

2. Materiales y métodos.

Existen numerosos métodos para crear escenarios climáticos (Centella *et al.*, 1999). Estos se clasifican como escenarios sintéticos, por análogos, los obtenidos de los modelos climáticos globales (GCMs) y los obtenidos por modelos climáticos simples (adimensionales o unidimensionales). Los más aceptados son los que toman las salidas de los GCMs, sin embargo sus exigencias computacionales hacen impracticable su uso en estudios rápidos o en los llevados a cabo por los países en desarrollo pues las corridas de estos modelos para cada escenario de emisión de gases demora meses en potentes supercomputadoras. Una técnica original de Santer *et al.* (1990) consiste en enlazar los resultados de un modelo simple con los patrones espaciales generados por los GCMs, lo cual puede ser efectuado en escasos minutos en cualquier microcomputadora. Este método fue empleado por primera vez en el Primer Reporte del IPCC e implementado completamente por vez primera en un modelo integrado de impacto en el ESCAPE. Muchos estudios de impacto y construcción de escenarios así como modelos de impacto integrados han empleado este método desde entonces (Hulme *et al.*, 1999). De esta forma la

construcción de escenarios climáticos resulta en un proceso de tres etapas: La selección de los escenarios de emisión de gases, la conversión de estas emisiones en valores de concentración, calentamiento y elevación del mar a nivel global y la asociación de estos valores globales con un patrón regional del cambio climático.

Los escenarios de emisión de gases empleado en el presente estudio fueron tomados del MAGICC (Hulme *et al.*, 1995; Hulme *et al.*, 1999) el cual a su vez los obtuvo del IPCC Data Distribution Center. Este sistema fue empleado para obtener la curva de incremento de temperatura global con el tiempo a lo largo del presente siglo. Mediante el sistema SCENGEN, modificado por Rivero (1998), fueron calculados los cambios climáticos previstos por los diferentes modelos de circulación general.

Aunque el IPCC recomienda usar todos los escenarios de emisión de gases (IPCC, 1994) esta es una tarea que genera cientos y cientos de corridas cuando se multiplica por la cantidad de GCMs a emplear, la cantidad de sectores de análisis y otros muchos factores. Esto es aún más crítico cuando se considera que el IPCC aprobó 6 escenarios en 1992 y esta cifra se elevó a 40 en el 2000 (IPCC, 2000). Para abarcar el rango de posibilidades de las emisiones futuras se decidió emplear escenarios de dos generaciones: el IS92a, IS92c, IS92e y el Kyotoa1, de la primera generación, representativos de los escenarios originales del IPCC, incluidos en la versión 2.3 del MAGICC y una segunda generación formada por los escenarios hipotéticos SRES A1, A2, B1 y B2 y los que se desprenden del protocolo de Kyoto y su Anexo 1: el K-1PC y el K-CON1. Los resultados obtenidos con el escenario IS92a corregido para incluir los valores de emisión medidos hasta 1996 (escenario IS92aFIT) no brindaron diferencias sustanciales respecto al IS92a original, por lo que no fue incluido en el estudio. Tampoco fue incluido el escenario de Kyoto K-NoMore, definido como el IS92a sin más reducciones después del 2010 ya que resultaba en un calentamiento ligeramente inferior al IS92a. Todos estos escenarios se escogieron para tomar en cuenta el rango de las incertidumbres que afectan la selección de un perfil de emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles para el presente siglo.

El IS92a se emplea como escenario de referencia pues fue considerado por el IPCC como un escenario intermedio. Sus niveles de emisión de CO₂ se encuentran

aproximadamente en el medio de los niveles de otros escenarios al menos hasta el 2050 y algunos de sus presupuestos iniciales son también intermedios. Por ello podemos considerar que sirve para comparar cuán beneficiosos o perjudiciales pueden ser los demás escenarios. Reviste gran importancia su uso ya que por haber sido empleado en un gran número de estudios a nivel mundial permite también intercomparar los resultados con los del resto de la comunidad científica internacional. En el estudio anteriormente realizado en Cuba fueron empleados el IS92a y el KyotoA1 (INSMET, 2000). Manteniéndolos en nuestra investigación podremos hacer comparaciones más veraces con los resultados obtenidos en años anteriores.

El IS92c es el escenario que más reduce las emisiones entre los escogidos, exceptuando las emisiones de aerosoles. Al igual que el IS92d establece una población mundial en el 2100 en el valor inferior de los rangos estimados por las Naciones Unidas, y es el que menor crecimiento económico prevé (2.0 % hasta el 2025 y 1.2 % hasta el 2100). Constituye a nuestro criterio un escenario utópico sobre lo que sería un mundo en el que se tomaran intensas medidas por mitigar el cambio climático y el control de la natalidad, o quizás un mundo regido por intensas guerras que frenarían el desarrollo y reducirían la población. El uso de este escenario nos permitirá evaluar o no hasta qué punto es inminente la presencia del cambio climático.

El IS92e es el escenario que más nivel de emisiones reporta y puede interpretarse como el perfil de emisiones más crítico resultante de la evolución de un mundo en el que se toman políticas tan arbitrarias, hegemónicas y unilaterales como la guerra de EUA contra el pueblo de Afganistán y las decisiones del gobierno de Bush de no suscribirse a los acuerdos de Kyoto y los tratados internacionales sobre la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero y contaminantes, negativa secundada recientemente por Rusia.

El escenario KyotoA1 se toma como referencia para comparar nuestros resultados con los obtenidos en la Primera Comunicación Nacional (INSMET, 2001). Los escenarios A1, A2, B1 y B2 nos servirán para tomar en consideración los avances globales en la construcción de escenarios de emisión y representarán los escenarios SRES del tercer informe del IPCC (IPCC, 2001).

El K-1PC (1% de disminución anual de las emisiones de CO_a), el K-CON1 (emisiones constantes) y el K-NoMore (sin limitación de las emisiones) representan las modificaciones realizadas al protocolo de Kyoto y a su Anexo 1 así como diferentes variantes posibles. El K-NoMore es representado en este estudio por el IS92a, como explicamos anteriormente. De esta forma reflejamos los acuerdos que se han adoptado internacionalmente y que en la actualidad el gobierno de los Estados Unidos se niega a firmar, aunque la comunidad europea y la mayor parte del mundo está dispuesta a cumplimentarlo a pesar de esta negativa.

El modelo MAGICC fue ejecutado para cada escenario de emisión con diferentes variaciones en sus parámetros. Uno de estos parámetros es la sensibilidad climática, que define la respuesta en equilibrio de la temperatura media global del aire a nivel de superficie ante una duplicación instantánea del nivel de CO₂ o del nivel de CO₂ equivalente. Se empleó el rango de valores que tiene el modelo por defecto, con lo que se dispone de un valor de 1.5 °C catalogado como bajo o inferior, un valor medio de 2.5 °C y un valor superior igual a 4.5 °C. El rango actualmente reconocido por el IPCC es de 0.5 a 5.5 °C. A la hora de decidir los parámetros de forzamiento de los gases de efecto invernadero se presentan muchas incertidumbres a nivel mundial. Muchos autores toman valores que otros consideran como excesivamente exagerados (Smith, 1998). Para remediar esta situación se tomaron tres combinaciones de valores de este forzamiento. Como primera opción se tomó los valores por defecto que trae implícitos el modelo, como segunda opción se tomó la mitad de dichos valores lo cual cae en el rango que reportan otros autores y por último se tomó un forzamiento nulo, tal como se consideró en la pasada evaluación.

Estas incertidumbres asociadas al proceso de decisión surgen debido a que aún hay muchos factores que no han sido completamente investigados. Existen dos efectos contrarios que surgen como resultado de las emisiones producidas por la acción antropogénica sobre el medio ambiente. Por una parte se encuentran los gases de efecto invernadero que provocan un calentamiento de la atmósfera a largo plazo, algunos de los cuales se mantienen cientos de años en la misma. El CO₂, por ejemplo, tiene un tiempo atmosférico de vida de 50 a 200 años y se distribuye de manera casi uniforme en el globo terráqueo (Hadley Center, 1995). El dióxido de

carbono, el metano y el óxido nitroso tienen orígenes naturales y antropogénicos. Las emisiones antropógenas de estos gases han contribuido aproximadamente con el 80 % del forzamiento adicional del clima debido a los gases de efecto invernadero desde la época preindustrial (IPCC, 1995a). La contribución del CO₂ es del orden del 60 % de este forzamiento y la del CH₄ es alrededor de la cuarta parte de este valor. Otros gases que entran dentro de esta categoría son el ozono troposférico, los halocarbonos (HCFC, HFC, etc) y el SF₆. El ozono troposférico se distribuye de forma no homogénea en el tiempo y el espacio y su permanencia en la atmósfera es breve (de días a semanas). El forzamiento radiativo de los gases de origen antropogénico se estima que produce un calentamiento adicional de 2.5 W/m² en el presente.

Por otro lado tenemos los aerosoles naturales y antropogénicos y el dióxido de azufre, que tras un pequeño tiempo de vida en la atmósfera de solo unos días forma aerosoles en dos formas básicas ya sea aumentando el número de partículas en condiciones secas o aumentando el tamaño de las partículas de los aerosoles naturales en condiciones húmedas. Los aerosoles tienen un tiempo de vida corto de unos diez días antes de ser arrastrados por las lluvias o depositados por gravedad. Los aerosoles antropogénicos contribuyen significativamente a la concentración de aerosoles en la atmósfera y su forzamiento radiativo, sumando los efectos directos e indirectos, está entre -0.3 y -2.0 W/m², y localmente puede exceder los -4.0 W/m² sobre extensas regiones industriales. Aunque el efecto de enfriamiento de los aerosoles se concentra en regiones y áreas continentales específicas puede tener consecuencias a escala continental y hasta hemisférica en los patrones del clima y pueden tener localmente un efecto que amortigüe los del calentamiento global e incluso lo sobrepase (IPCC, 1995b).

Dado que los modelos de circulación general y los experimentos disponibles suman varias decenas siempre resulta necesario utilizar algún criterio de selección de estos para hacer manejable el volumen de información a analizar (Rivero, 2001). Para obtener los patrones climáticos para la región de interés se tomaron las salidas de los modelos HadCM2 del Hadley Center y ECHAM4 del Max Planck Institute atendiendo a los siguientes criterios:

1. Que tengan la mejor representación posible del clima actual, especialmente para la precipitación y las. Para ello fueron tomados los datos que aparecen en la tabla de correlación del sistema MAGICC / SCENGEN.
2. Usar los modelos más recientes en su última fase de desarrollo.
3. Usar experimentos de transiente.
4. Usar experimentos de comienzo en caliente
5. No usar modelos que no van a continuar desarrollándose

La selección de varios modelos globales es un factor necesario para cubrir todo el rango de incertidumbres concernientes a la evolución de las precipitaciones con el cambio climático.

Otra incertidumbre que se presenta es que los GCMs no son buenos en estimar los cambios que ocurrirán en la variabilidad climática. Al estimar las condiciones climáticas futuras es importante tener algún estimado de la manera en la cual esta variabilidad se va a alterar (Hulme, 1996).

Podemos preguntarnos si serán más o menos frecuentes los eventos extremos, y si estos serán más o menos extensos. Un aumento en el valor de la temperatura media manteniéndose iguales las demás condiciones muy probablemente conduzca a una reducción de los años con condiciones más frías y un aumento en la cantidad de años cálidos. Una reducción de las precipitaciones debe estar asociada con un aumento en las condiciones de sequía. Lo que es indiscutible es que el cambio climático conducirá a cambios en la variabilidad climática y esta puede ser responsable de daños más severos aún que los causados por la variación de los valores medios.

Por ello hemos aplicado los escenarios a nuestro clima por dos métodos diferentes. El primero consiste en aplicar el cambio previsto para cada período de 30 años a cada uno de los años del período base (1961-1990). Este método asume que el cambio en la variabilidad climática se refleja sólo en los valores extremos de las variables y no en la frecuencia de ocurrencia. El segundo método consistió en generar la climatología a partir de generadores estocásticos del clima. El sistema empleado es el WGEN que acompaña al sistema de modelos biofísicos DSSAT 3.5. Se empleó para la línea base o de referencia los valores de la base de datos diarios

de las variables climáticas desarrollada por nuestro centro con fines de aplicación de modelos biofísicos en nuestra provincia (Rivero *et al.*, 2001).

Las fechas escogidas para el estudio fueron 2010, 2030, 2050, 2075 y 2100. Hacemos notar que a medida que aumenta la fecha de análisis las predicciones adquieren cada vez más un carácter especulativo y divergen grandemente de un escenario a otro, de ahí la necesidad de cubrir el mayor rango de posibilidades que se pueda enfrentar en el estudio.

3. Análisis y discusión de los resultados.

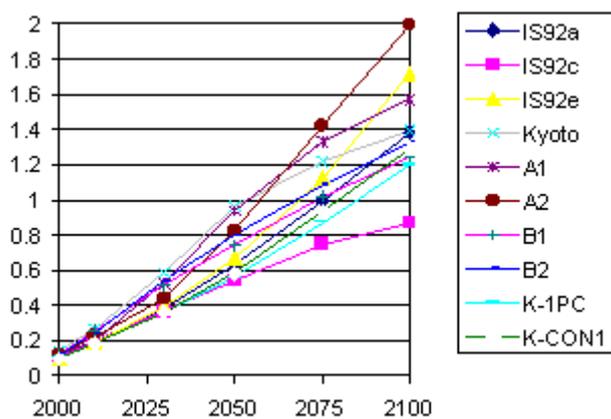


Fig. 1. Calentamiento global previsto para el siglo XXI, con baja sensibilidad climática.

Al analizar las salidas del modelo MAGICC con todos los escenarios de emisión resulta que se obtiene una elevación progresiva de manera casi lineal de la temperatura media a lo largo del presente siglo, con un abanico de posibilidades que se va abriendo en forma de cono en el tiempo. El valor mínimo entre todos los proyectados

resulta de aplicar el escenario IS92c con sensibilidad climática baja y es de 0.9 °C para el 2100 (Fig. 1.). Este valor es solo superado por el escenario EMCONST (IS92a con emisiones de CO₂ al mismo nivel del 2000) que a un nivel de precisión de tres lugares decimales se diferencia de los resultados simulados con el IS92c en 0.042 °C. El valor máximo es de 3.2 °C con el escenario IS92e y sensibilidad alta que llega a 4.7 °C si no se toma en cuenta la influencia de los aerosoles.

Con los perfiles de emisión de la primera generación se observa un resultado curioso. Al considerar los aerosoles la temperatura prevista según el acuerdo de Kyoto se va rápidamente por encima de los demás escenarios y solo en el 2085 reporta un valor similar al previsto por el escenario IS92e para acercarse paulatinamente a lo previsto por el IS92a a finales de siglo (Fig. 2), mientras que al ir disminuyendo el forzamiento de aerosoles en la actualidad hasta no considerar su efecto, los cambios previstos según los escenarios IS92e e IS92a son mayores que

los previstos tomando en consideración dicho acuerdo. Esto se debe a que la cuantificación de aerosoles en los dos primeros es mucho mayor que la que se tomó después como acuerdo internacional. Sin embargo, sucede lo contrario con la segunda generación de escenarios (Fig.3). En este caso los escenarios K-1PC e IS92a suben a valores más altos dentro del rango previsto por los SRES.

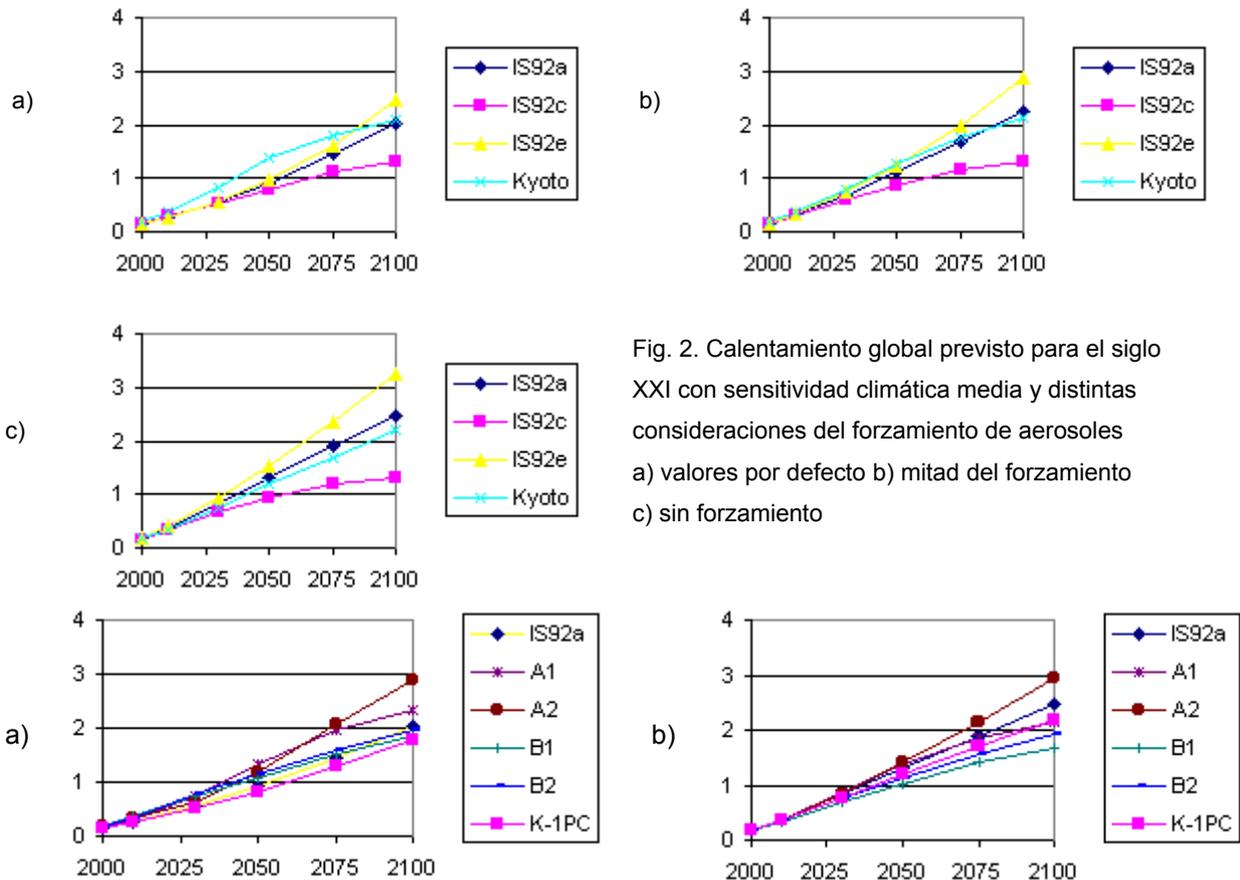


Fig.3. Calentamiento global previsto para el siglo XXI con sensibilidad climática media y distintas consideraciones del forzamiento de aerosoles con los escenarios SRES. a) valores por defecto b) sin forzamiento

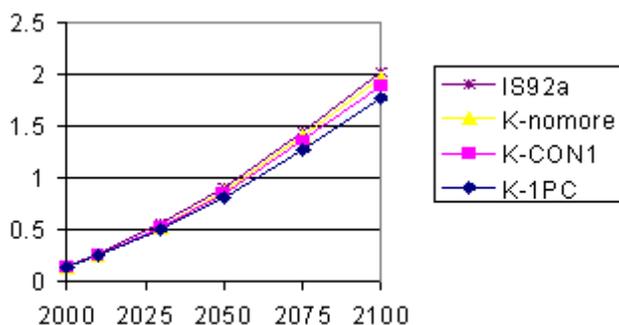


Fig. 4. Comparación entre el escenario de referencia y los del acuerdo de Kyoto.

Como hemos podido apreciar en las figuras, las distintas variantes modernas de los escenarios del protocolo de Kyoto son pequeñas variaciones del escenario IS92a (Fig. 4). La diferencia entre ambos

es menor aún si no se considera el efecto de los aerosoles (Fig. 3c).

De los cuatro modelos globales del clima desarrollados por diferentes instituciones que más se asemejan al clima actual el HadCM2 es el que más información nos brinda (Tabla 1). Este modelo nos da información sobre 8 variables climáticas mientras que el CSIRO (de Australia) y el ECHAM4 (de Alemania) brindan 7 y el ECHAM3TR y el CCCEQ de Canadá brindan 3, es por eso que el HadCM2 es el recomendado por el presente informe para el estudio que se está desarrollando, ya que las variables reportadas en el otro modelo escogido no son suficientes para una evaluación precisa en el sector de la agricultura y la silvicultura. Por otra parte, el único de los modelos analizados que prevé cambios diferentes de la temperatura para distintas épocas del año es el HadCM2 lo que se puede apreciar en la figura 5, donde para mayor claridad la precipitación se ha mostrado por trimestres. El modelo ECHAM4 se podrá emplear sin embargo para abarcar otras posibilidades y no comprometerse solo con los resultados de un GCM. Su principal deficiencia para nuestra región es que no considera la presencia de tierra en el Caribe, tal como lo hace el del Hadley. Ello parece repercutir en la relación existente entre los cambios de precipitación y temperatura (figura 6).

Tabla 1. Datos específicos de los GCMs y variables que aportan

Nombre	Resolución		Clasificación	R	Variables que aporta
	Latitud	Longitud			
HadCM2	2.5	3.75	Transiente	0.77	T, P, cld, tmx, tmn, DT, vap, vel
CSIRO9M2	3.2	5.6	Equilibrio	0.71	T, P, cld, tmx, tmn, DT, vel
ECHAM3TR	5.6	5.6	Transiente	0.67	T, P, cld
CCCEQ	3.7	3.75	Equilibrio	0.63	T, P, cld
UKTR	2.5	3.75	Transiente	0.76	T, P, cld
ECHAM4	~2.8	~2.8	Transiente	0.74	T, P, tmx, tmn, DT, vap, vel
CSIRO-TR	3.2	2.6	Transiente	0.74	P, tmx, tmn, DT

R – Coeficiente de correlación de los patrones de precipitación media mensual.

Variables:

T – Temperatura

P – Precipitación

cld – Cubierta nubosa

vel – Velocidad del viento

tmx – Temperatura máxima

tmn – Temperatura mínima

DT – Rango de temperatura diaria

vap – Presión del vapor de agua

Para aplicar los cambios previstos a nuestra línea base se requiere de estaciones de larga historia con al menos 30 años de datos en el período 1961-1990. Sin embargo, sólo una de nuestras seis estaciones cumple con ese requisito. Para solventar esta situación se obtuvieron ecuaciones de regresión que relacionan los valores medios de las variables climáticas en las mismas con los de la estación de Camagüey, en el mismo período de tiempo disponible para dichas estaciones y se emplearon estos resultados para estimar los valores medios de las variables en el período completo de 30 años, partiendo de los promedios conocidos en la estación de referencia. Los resultados se aprecian en la tabla 2.

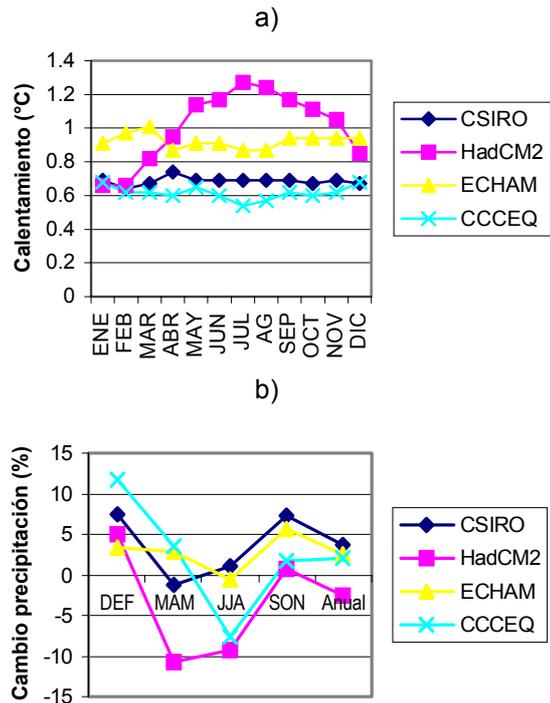


Fig. 5. Patrones de cambio por cada grado de calentamiento global que reportan los modelos en estudio para distintos momentos del año en la celda que cubre a Camagüey. a) Cambios en la temperatura por meses b) Cambios en la precipitación por trimestre y para el año.

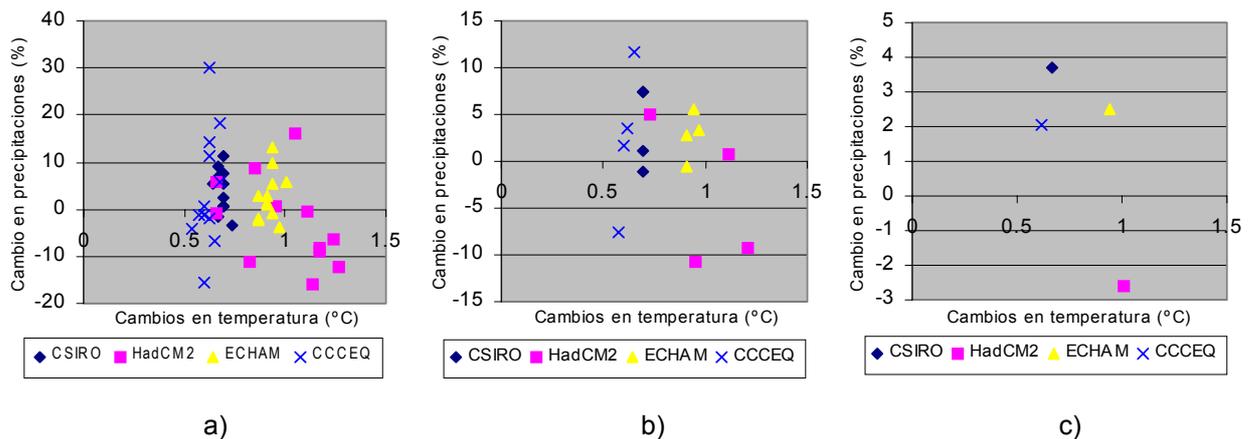


Fig 6.- Gráfico de dispersión del cambio en temperatura y en precipitación para los diferentes modelos en Camagüey. a) por meses b) por trimestres c) media anual

Se observa que las correlaciones del viento con las estaciones costeras (NU y SC) son menores que para el resto de las variables climáticas. Esto resulta lógico debido

a que estas estaciones están afectadas por un régimen de brisas con más intensidad que otras que se encuentran más alejadas de las costas.

Para la confección de los escenarios climáticos las variables cuyo cambio no está disponible en los modelos analizados (Tabla 1) o que no puedan ser derivados de estas, se mantuvieron inalteradas de igual forma que en un escenario de Bultot (Wolf y van Diepen, 1993).

Tabla 2. Ecuaciones de regresión entre los valores medios de las variables climáticas principales en las estaciones de la provincia con respecto a la estación de Camagüey.

Período	Variable	Ecuación	Coefficiente de correlación
1970-1990	HMR	FL = -13.32 + 1.1828 CM ES = -2.837 + 0.97630 CM	0.96527 0.97789
	TMA	FL = -1.121 + 1.0503 CM	0.99874
	TMI	FL = -0.5936 + 1.0508 CM	0.99710
1971-1990	HMR	ES = 6.1760 + 0.92662 CM FL = -13.37 + 1.1517 CM SC = -7.179 + 1.0508 CM NU = 31.795 + 0.57925 CM	0.94620 0.98815 0.97994 0.92059
	LLV	ES = -3.892 + 0.97796 CM FL = -14.04 + 1.1955 CM SC = -0.8364 + 0.79634 CM NU = 28.510 + 0.56186 CM	0.97919 0.96065 0.97686 0.74608
	TMA	ES = -4.507 + 1.1460 CM FL = -0.8644 + 10.392 CM SC = 7.1004 + 0.77007 CM NU = -2.963 + 1.0595 CM	0.99200 0.99867 0.94074 0.95515
	TMI	ES = -4.914 + 1.2134 CM FL = -0.5879 + 1.0480 CM SC = -4.682 + 1.2609 CM NU = 4.8376 + 0.89214 CM	0.99734 0.99722 0.87761 0.98584
	VEL	ES = 2.7224 + 0.51289 CM FL = -0.9810 + 0.95648 CM SC = 3.2383 + 0.72540 CM NU = 0.62460 + 0.32410 CM	0.93411 0.91315 0.88238 0.88279
	1976 – 1990	HMR	PS = -19.76 + 1.2448 CM
LLV	PS = 7.4045 + 0.86442 CM	0.97403	
TMA	PS = 2.7979 + 0.91912 CM	0.99780	
TMI	PS = -1.211 + 1.0348 CM	0.99819	
VEL	PS = -2.083 + 0.97812 CM	0.97431	

CM – Camagüey
FL – Florida
ES – Esmeralda
SC – Santa Cruz del Sur
PS – Palo Seco
UN – Nuevitas

4. Conclusiones.

Una de las conclusiones más importantes del trabajo es que en realidad el acuerdo de Kyoto no resuelve a fondo el problema de la mitigación del cambio climático ya

que se mantiene el calentamiento global en el futuro a todo lo largo del siglo, y con una mayor rapidez a medida que transcurre el mismo. Por otro lado estos acuerdos sí sirven para frenar el aumento ininterrumpido de la emisión de gases y sienta una pauta para futuras negociaciones. Constituye uno de los primeros avances de una conciencia ambiental a nivel mundial que se va desarrollando.

De acuerdo a todos los escenarios climáticos estudiados y a las políticas actuales que sigue la humanidad, el cambio climático es inminente, y sus afectaciones continuarán a muy largo plazo, o sea, más allá de finales de nuestro siglo.

La parametrización de las emisiones de SO₂ del escenario KyotoA1 de la primera generación no se corresponden con las que actualmente se encuentran en vigor en el protocolo de Kyoto, por lo que los resultados obtenidos anteriormente con este escenario han perdido validez en el contexto de los ajustes a este acuerdo, lo cual no habría sucedido con el uso de los escenarios semisintéticos, como sugiriera Rivero et al., (1998). Los escenarios obtenidos en Cuba con el IS92a mantienen su vigencia, especialmente por su similitud con los escenarios de Kyoto actuales.

5. Referencias.

Centella, A., T. Gutiérrez, M. Limia y R. R. Rivero (1999): *Climate Change for impact assessment in Cuba. Clim. Res.* Vol 12, pp. 223-230.

Hadley Center (1995): *Modelling Climate Change: 1860-2050*. The Hadley Center for Climate Prediction and Research (HC), 12 pp.

Hulme, M. (1996): *Climate Change and Southern Africa: an exploration of some potential impacts and implications in the SADC region*. CRU (UK) and WWF International, Breckland Print Limited, Norfolk. 104 pp.

Hulme, M., T. Jiang & T. Wigley (1995): *A climate change scenario generator: a user manual*. Climate Research Unit, UEA, Norwich.

Hulme, M., E. Barrow, et al. (1999) [inédito]: *MAGICC and SCENGEN Workbook*. Preparado para UNDP/GEF NCSP, primer borrador, 13 December 1999.

- INSMET (1999): *Impactos de los Cambios Climáticos y Medidas de Adaptación en Cuba*. Informe Final de Proyecto, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, Premio Especial Ministra CITMA.
- INSMET (2000): Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. [Gutiérrez, T. , A. Centella, M. Limia y C. López (eds.)]. Informe Científico – Técnico, 207 pp.
- INSMET (2001): República de Cuba. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. [Centella, A., J. Llanes, L. Paz, C. López y M. Limia (eds.)]. CubaEnergía, 169 pp.
- IPCC (1994): *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. (Ed. J.T. Houghton, L. G. Meira, J. Bruce, H. Lee, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris & K Maskell), Cambridge University Press, 335 pp.
- IPCC (1995a): *Segunda Evaluación: Cambio Climático 1995*. OMM-PNUMA, 71 pp.
- IPCC (1995b): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (Summary for Policymakers). OMM-PNUMA, 56 pp.
- IPCC (2000): *Escenarios de Emisiones: Resumen para responsables de políticas*. Informe Especial del IPCC, 9pp, <http://www.ipcc.org>.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Lapinel, B., R. E. Rivero, V. Cutié, R. R. Rivero y N. Varela (1993): *Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía: Análisis del Período 1931-1990*. Informe Científico Técnico. Instituto de Meteorología, Cuba.

- Naranjo, L. R. y A. Centella (1998): *Variaciones interanuales en las variables meteorológicas sobre el Caribe y el Golfo de México. I Parte: presión a nivel del mar y a la altura de 500 hPa*. Informe Científico Técnico. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
- Rivero, R. E. (2001): *Evaluación preliminar del impacto de los cambios climáticos sobre la agricultura y los bosques de la República Dominicana*. Informe de Consultoría, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Santo Domingo, 32 pp.
- Rivero, R. E., D. R. García, R. R. Rivero, E. Estrada, G. López, F. Mejías y N. Rodríguez (1998): *Variaciones de la productividad primaria neta de los ecosistemas con distintos escenarios climáticos plausibles*. XII Fórum Municipal de Ciencia y Técnica, Camagüey.
- Rivero, R. R. (1998) [inédito]: *Creación de una ventana para Cuba en el sistema SCENGEN*. Trabajo científico técnico para las BTJ. Centro Meteorológico de Camagüey.
- Rivero, R. R., R. E. Rivero, A. Agramonte, J. Morejón, I. Pérez y O. Padilla (2001): *Base climática de datos diarios de las estaciones meteorológicas de Camagüey*. Informe Científico Técnico de Resultado, Centro Meteorológico de Camagüey, 5 pp.
- Santer, B. D., T. M. L. Wigley, M. E. Schlesinger and J. B. F. Mitchell (1990): *Developing Climate Scenarios from Equilibrium GCM Results*. Max Planck Institute for Meteorology report 47, Hamburg, Germany.
- Smith, Joel B. (1998): Comunicación Personal, Primer Taller del Proyecto Impactos y Medidas de Adaptación en Cuba, La Habana, Cuba.
- Wolf, J., y C. A. van Diepen (1993): *Effects of climate change on crop production and land use in the Rhine basin*. En: **Climate Change; crops and terrestrial ecosystems** (S. C. Van de Geijn, J. Goudriaan y F. Berendse, eds.). Agrobiologische Thema's 9, 71 - 95 pp.