

producción de hidrocarburos. Gaceta Oficial N° 5079. Extraordinaria. 19 de julio. Caracas.

Sebastiani, M., A. Villamizar y A. Sambrano. 1991. El análisis espacial y su relación con la escala de representación. Ejemplo de casos desde la perspectiva geográfica. *Acta Científica Venezolana*. 42:24-32.

Sebastiani, M., A. Villamizar y H. Alvarez. 1994. Sugerencias para reformular el Cuestionario Básico Ambiental sobre la base de los resultados de EIA para proyectos de desarrollo. XLIV Convención de ASOVAC. Coro, estado Falcón. (Ponencia).

WCED (The World Commission on Environment and Development). 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Gran Bretaña. 400 p.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Geógrafa Ivonne Alvarado y al Urbanista Daniel Chacón por los comentarios al manuscrito.

## ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO POR EFECTO INVERNADERO Y DEFORESTACIÓN PARA VENEZUELA

Andressen, R.,

Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales,  
Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

Robock, A.

Departamento de Meteorología, Universidad de Maryland,  
College Park, MD. U.S.A.

Acevedo, M.

Departamento de Geografía, Universidad del Norte de Texas,  
Denton, TX. U.S.A. y CESIMO, Universidad de Los Andes,  
Mérida, Venezuela.

## RESUMEN

La posibilidad de ocurrencia de cambios climáticos, inducidos por el incremento de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto-invernadero en la atmósfera, y por procesos de deforestación, es un problema que merece la mayor atención, tanto científica como de política ambiental. A objeto de estudiar los posibles impactos de los cambios climáticos, se requieren escenarios regionales de clima futuro. El desarrollo de los modelos tridimensionales de la circulación atmosférica (GCMs), ha permitido diseñar técnicas para simular las condiciones climáticas del futuro y analizar el efecto de los distintos forzamientos sobre el sistema climático. En este trabajo, se genera un conjunto de escenarios de cambios de clima para Venezuela, en base a los resultados obtenidos de los modelos UKMO (United Kingdom Meteorological Office) y GISS (Goddard Institute for Space Studies) en combinación con el conocimiento de la climatología regional. También se generan escenarios de cambios climáticos debidos a la deforestación extensiva en la cuenca amazónica.

**Palabras Clave:** Cambios Climáticos, Escenarios de Clima Futuro, Venezuela

## ABSTRACT

The possibility of occurrence of climatic changes, induced by the increase of CO<sub>2</sub> and other greenhouse-gases and the extension of the deforestation process, is a matter that merits greater attention from the scientific and environmental policy viewpoints. In order to study the possible climatic change im-

pacts, regional scenarios of future climate are required. The development of atmospheric circulation models (GCMs) has made it possible the simulation of future climatic conditions and the analysis of the different forces that act upon the climate system. In this study, a set of climate change scenarios are generated for Venezuela, based upon the results of the UKMO (United Kingdom Meteorological Office) and the GISS (Goddard Institute for Space Studies) models, combined with knowledge of the regional climate. Scenarios are also created for climate change due to extensive deforestation in the Amazon basin.

**Key Words:** Climate Change, Future Climate Scenarios, Venezuela.

## INTRODUCCION

Los futuros cambios de clima, debidos a la intensificación del Efecto Invernadero, pueden producir grandes impactos sobre la humanidad. En este sentido, numerosos estudios científicos han advertido acerca de la posibilidad de que ocurra un cambio importante en el clima de la tierra para mediados del próximo siglo. (U.S.A., National Research Council, 1979, 1983, 1987; World Meteorological Organization, 1986; Houghton et al., 1990).

A pesar de que las proyecciones del clima del futuro son relativamente imprecisas, es importante e impostergable iniciar la evaluación de los efectos potenciales de los cambios climáticos sobre la biósfera y las actividades humanas; debido a los complejos mecanismos temporales de respuesta del sistema climático. Este tipo de estudios se ha venido efectuando desde hace varios años en otros países (Véase por ejemplo, Smith y Tirpak, 1989; Kemp, 1991; Jung y Bach, 1985; UKDOE, 1991), y son necesarios para el desarrollo de respuestas tecnológicas y la adopción de políticas destinadas a minimizar los impactos adversos.

El objetivo primordial del presente trabajo es definir escenarios posibles de cambios climáticos para Venezuela, para una situación de  $2xCO_2$  y deforestación extensiva de la cuenca Amazónica, que puedan servir de base para la realización de estudios de impactos sobre la agricultura, los ecosistemas terrestres y los recursos hídricos.

## CAUSAS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS

Tanto el desarrollo pretérito como futuro de los cambios climáticos está determinado por una combinación de forzamientos externos, fluctuaciones internas y las respuestas características del sistema climático. Para entender el clima futuro de nuestro planeta y sus

impactos, debemos considerar todas las causas potenciales de los cambios climáticos, las que son revisadas en detalle por Robock et al. (1993), y brevemente resumidas en este trabajo.

**Causas Naturales.** Las causas naturales de los cambios climáticos incluyen las variaciones en la energía solar recibida, el vulcanismo, el aerosol troposférico y las variaciones internas del sistema climático. Las observaciones que, por más de un siglo, se han efectuado de la energía solar no demuestran que los cambios en la constante solar sean responsables de los cambios climáticos observados en los últimos 150 años, o que sean suficientemente significativos para ser importantes en el futuro. Aún no se han efectuado estudios de la constante solar con base en modelos de circulación general de la atmósfera (GCMs); razón por la cual esta causa de cambios climáticos no será considerada en los escenarios a ser desarrollados en este trabajo.

La intensificación de los procesos de vulcanismo de la Tierra, puede aumentar significativamente la concentración de aerosoles estratosféricos, disminuir la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra y reducir las temperaturas superficiales en varios grados por varios años. Una parte significativa de los cambios climáticos globales observados en los últimos 100 años, pueden atribuirse a los efectos de las erupciones volcánicas (Robock, 1979). Sin embargo, se han efectuado muy pocos estudios de erupciones volcánicas con GCMs y no están disponibles para estudios de impacto regional; por lo que esta causa tampoco será considerada.

Los aerosoles troposféricos pueden producir calentamiento o enfriamiento; dependiendo de su concentración, color, tamaño y distribución vertical. Sólo algunos experimentos están siendo conducidos recientemente con GCMs que incluyen, a nivel regional, variaciones en el aerosol troposférico (IPCC, 1996c). Ya que los resultados de estos estudios aún no están disponibles, este tipo de forzamiento no será utilizado para crear los escenarios.

Las variaciones internas del sistema climático pueden tener amplitudes y escalas temporales comparables a los cambios climáticos que, por efecto del calentamiento global, podrían ocurrir en las próximas décadas. Un evento "El Niño", tan importante como el ocurrido en 1982-83, puede tomar grandes cantidades de energía de los océanos y calentar el clima superficial por un año o dos; este calentamiento es, por lo tanto, agregado a cualquier calentamiento debido al efecto invernadero. Nuestros



conocimientos acerca de las variaciones del ENSO ("El Niño" / Oscilación Sur) han estado avanzando, lo que nos permite tomar en consideración este factor para interpretar cambios climáticos pasados.

Todos los experimentos efectuados con GCMs naturalmente incluyen las oscilaciones internas del sistema climático en sus salidas. Sin embargo, debido a las limitaciones de estos modelos (tal como se discute más adelante), especialmente las dificultades en simular los eventos ENSO, los actuales resultados de los GCMs deben ser utilizados con la salvedad de que no estiman satisfactoriamente la variabilidad interna del sistema climático.

**Causas Antropogénicas.** Las causas antropogénicas de los cambios climáticos incluyen: los gases de efecto-invernadero (llamados GHG en sus siglas en inglés), la deforestación, el invierno nuclear y los aerosoles troposféricos. La concentración de un cierto número de gases-trazas en la atmósfera está aumentando debido a las actividades humanas. La mayor parte de los grupos científicos que hacen modelaje climático han usado los GCMs para estudiar los efectos de los aumentos, graduales o instantáneos, de los gases de efecto-invernadero, lo que constituye la base para la construcción de los escenarios climáticos para análisis de impacto. Al discutir el cambio climático, es conveniente referirse a un 'Doble CO<sub>2</sub> Equivalente', que significa que el efecto de todos los gases de efecto-invernadero juntos es igual al efecto de un doble CO<sub>2</sub>. Esto obviamente ocurriría con meros de un doble CO<sub>2</sub>, ya que los otros gases de efecto-invernadero antropogénicos combinados contribuyen, aproximadamente, con la misma cantidad de calentamiento que el CO<sub>2</sub>. Mientras resulta razonable considerar todos los gases de efecto-invernadero juntos para el propósito de calcular el efecto radiativo, los otros efectos de estos gases, como fertilización de las plantas por el CO<sub>2</sub> o las reacciones químicas, deben ser determinados en base a la concentración real de cada gas. Los cálculos de 2xCO<sub>2</sub>, usados en este trabajo, tienen el propósito de evaluar los efectos de un '2xCO<sub>2</sub> Equivalente'.

Las actividades humanas, como la deforestación y los cambios en el uso de la tierra, no solamente constituyen una fuente de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> para la atmósfera, sino que cambian también el albedo superficial, la rugosidad superficial y la tasa de evaporación de la humedad del suelo hacia la atmósfera. Los resultados de los trabajos de Shukla et al. (1990), quien modeló la deforestación de la región amazónica, proveen importante información para ser usada en la construcción de escenarios climáticos para Sur América.

Las actividades humanas que normal y continuamente se llevan a cabo en la superficie terrestre también inyectan aerosoles en la atmósfera. Sus efectos sobre el clima y su potencialidad de enfriar y contrarrestar el calentamiento global, no han sido hasta el presente bien estudiados, por lo que no se conocen lo suficientemente como para ser incluidos en escenarios detallados.

## VULNERABILIDAD DE VENEZUELA A LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES

A pesar de su ubicación latitudinal, muy cerca del ecuador, Venezuela puede ser vulnerable a los efectos de los cambios climáticos, resultantes del efecto invernadero y la deforestación extensiva en la Cuenca Amazónica. Regiones importantes del país pueden ser afectadas, debido a sus condiciones climáticas y ecológicas actuales, a su localización geográfica y a los tipos de actividades económicas presentes. Entre los principales sectores que podrían ser afectados, estarían el agrícola, el turismo, la recreación y el industrial dependiente de materia prima agrícola. La vegetación y la fauna, fundamentalmente los ecosistemas frágiles, y los recursos hídricos son muy sensibles a las variaciones del clima. Las actividades y recursos costeros serían vulnerables, aunque en menor medida. Una discusión preliminar de la susceptibilidad de Venezuela a los cambios climáticos se presenta en los informes de los talleres organizados por el Proyecto Pan Earth: Caso de Estudio Venezuela (Acevedo, 1989; Harwell, 1990) y en otros trabajos (Robock et al., 1993).

**Impactos en la Agricultura.** En los trabajos antes citados se destaca el hecho de que buena parte de la agricultura en Venezuela es de secano y, por lo tanto, depende de las precipitaciones (cantidad, ocurrencia y características). De especial importancia es el inicio y duración del período lluvioso. Es claro que escenarios a ser desarrollados para las más importantes áreas agrícolas en Venezuela deben tomar en consideración estos aspectos. Aparte de la agricultura que se desarrolla en las tierras bajas, los valles de las cordilleras de Los Andes y la Costa también son utilizados agrícolamente. En estos valles, y específicamente en los andinos, incrementos en la temperatura del aire pueden tener sustanciales efectos en los cultivos. Para el caso de Los Llanos (localidades de Barinas y Turén) aumentos en la temperatura mostraron una reducción en el rendimiento de algunos cultivares de maíz (Maytin et al. 1995).



Otro aspecto importante tiene que ver con las enfermedades y pestes en la agricultura. Bajo condiciones climáticas más cálidas, las enfermedades y pestes de los cultivos tienen una mayor probabilidad de alcanzar niveles severos. Los patógenos (hongos y bacterias) tienen más posibilidad de aumentar, si las condiciones climáticas se tornan más húmedas (Primault, 1979; Parry y Duinker, 1990). Un problema asociado con el anterior, es el uso de fungicidas y pesticidas, que se hacen más tóxicos, cuando se alcanzan ciertos niveles de temperatura máxima del aire. (Guzmán-Pérez, 1988).

Cambios en el uso de la tierra pueden afectar el comportamiento fisiológico de las plantas C3, tales como el arroz que tendría tasas de crecimiento más altas en condiciones de mayor concentración de CO<sub>2</sub>, a diferencia de las plantas C4, tales como el maíz, sorgo y caña de azúcar (Wong, 1979; Kimball, 1983; Woodrow y Barry, 1988).

Los aumentos en la precipitación, particularmente si ocurren en la época lluviosa, pueden causar a largo plazo cambios en la fertilidad del suelo, debido a aumentos en el lavado, cambio en el status de las bases del suelo y aumento de las pérdidas por erosión superficial. En el caso de áreas planas con drenaje deficiente, pueden desarrollarse condiciones de saturación, que favorecen las inundaciones.

**Impactos en la Flora y Fauna.** La flora y fauna actuales son el resultado de un largo proceso evolutivo, que ha estado vinculado a los lentos cambios climáticos del pasado; pero estos cambios pueden llegar a ser más rápidos e importantes en el próximo siglo, debido a la intensificación del efecto invernadero. Lo que realmente amenaza a los ecosistemas, y especialmente a las especies que tengan una pequeña capacidad de adaptación, no es sólo la magnitud de los cambios sino también la velocidad con que los mismos pueden ocurrir. Un incremento de 3 °C, en el próximo siglo, es un cambio mucho más drástico que los ocurridos en el último millón de años. Es decir, el efecto invernadero puede conducir a que cambios climáticos ocurridos en miles de años tengan lugar en un plazo mucho más corto (un siglo). Esto limitaría severamente la capacidad de adaptación de muchas especies.

Los bosques y las sabanas tropicales constituyen los ecosistemas terrestres más importantes en Venezuela. Las sabanas cubren la mayor parte de la superficie de Los Llanos y coexisten con los bosques en la región al sur del Río Orinoco. La intensidad y frecuencia de los incendios juegan un papel muy importante, especialmente en las sabanas. Los

incendios naturales y los causados por el hombre dependen, en un alto grado, de las condiciones meteorológicas imperantes. La interacción entre la época de quema, u ocurrencia de un incendio natural, y otros factores como humedad del suelo, temperatura, precipitación y disponibilidad de biomasa, será diferente si cambian las condiciones del clima.

La vegetación en la región al sur del Río Orinoco consiste principalmente de bosques tropicales establecidos sobre suelos de extrema fragilidad (Acevedo et al., 1989) para los que no se conocen bien sus condiciones físicas y químicas. También se pueden esperar cambios en las zonas de transición entre los bosques y las sabanas. Fariñas et al. (1990) encontraron que los aumentos en la precipitación y en la temperatura pueden favorecer las condiciones para que los bosques ocupen áreas actualmente bajo sabanas. La migración y el desplazamiento de los ecosistemas forestales afectaría la biodiversidad en esta región; ya que los bosques tropicales tienen una amplia composición florística.

En regiones de montaña como Los Andes y Cordillera de la Costa se presenta una zonación vertical de la vegetación. Particularmente en las montañas andinas, algunas especies están confinadas a las partes más altas. Bajo condiciones climáticas más cálidas estos habitats ecológicos se moverían más hacia arriba, reduciéndose su extensión y el tamaño de las poblaciones, y aun poniendo en peligro su existencia. (IPCC, 1996a, Capítulo 5). Ejemplos de extinciones pretéritas atribuidas a este proceso de desplazamiento vertical, donde las zonas de vegetación se han movido 1000 a 1500 m. desde el Último Máximo Glacial, han sido estudiados para el norte de Sur América (Flenley, 1979; Van der Hammen, 1974). Concretamente en el caso de la Cordillera de Los Andes, las áreas de páramo podrían fragmentarse en áreas más pequeñas y dispersas; efecto análogo al señalado por Bravo et al. (1988) para el caso de los sectores altos en los Andes ecuatorianos.

Las regiones secas, principalmente en el cinturón norte-costero, pueden ser afectadas por escasez de agua causada por un incremento en la evaporación y evapotranspiración. Esta posible escasez en la disponibilidad de recursos hídricos, además de efectos económicos, podría tender a disminuir la producción de biomasa, alterando la cobertura vegetal y causando cambios en la distribución de la fauna y aceleración en los procesos de erosión de los suelos.



Otros posibles impactos pueden darse en las plantaciones de pino en la región este de los Llanos (Uverito): disminución en la disponibilidad hídrica de los suelos acompañada por aumentos en la evapotranspiración pueden afectar la tasa de crecimiento de estos árboles, causando efectos adversos de carácter económico que ameritan ser evaluados. Por otro lado, poco se conoce de los efectos que los incrementos de temperatura y  $\text{CO}_2$  puedan tener sobre los bosques; que por un lado ayudan a absorber parte del  $\text{CO}_2$  atmosférico, pero que por otra parte contribuyen a producir este gas por respiración, quema y descomposición de biomasa.

En relación a los posibles impactos sobre la criósfera en la Sierra Nevada de Mérida, Schubert ha demostrado, con base en fotografías tomadas desde 1885 hasta el presente, que la altura de las nieves perpetuas ha ascendido de 4.100 m. a más de 4.700 m. (Schubert, 1992). Una intensificación de la señal del calentamiento podría conducir a una desaparición de estas áreas de nieves y hielos perpetuos.

**Impactos en las Regiones Costeras.** Venezuela ocupa el lugar 27 dentro de las naciones, en el mundo, más vulnerables al incremento del nivel del mar (UNEP, 1989). Con aproximadamente 2.700 Km de costas, las zonas costeras y áreas marinas venezolanas podrían experimentar efectos directos e indirectos, en caso de ocurrir un incremento en el nivel del mar inducido por el calentamiento global. Dentro de estos efectos, se pueden mencionar como principales: la submersión y pérdida de áreas costeras ubicadas a muy baja altitud, la intrusión salina en los acuíferos costaneros, la erosión costera y sus efectos sobre obras de infraestructura costera, puertos, infraestructura de transporte de petróleo y gas y de otras actividades comerciales. Los efectos indirectos incluyen el desplazamiento de los sitios tradicionales de pesca y efectos sobre los ecosistemas costeros, como los manglares (Harwell, 1990b). Otro aspecto es el relacionado con las tormentas tropicales y huracanes. En un clima futuro más cálido, el área del Océano Atlántico donde se originan estos fenómenos, experimentaría temperaturas superficiales del mar -más altas que las actuales- favoreciendo aún más la formación de tormentas tropicales que pueden, eventualmente, evolucionar a huracanes. Esta área podría expandirse o modificar su localización geográfica, lo que afectaría el patrón y trayectoria de las tormentas que allí se formen, aumentando la probabilidad de que la región noreste de Venezuela pueda ser afectada con más frecuencia que en la actualidad.

## GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Para la generación de escenarios de clima futuro, la técnica más idónea es el empleo de modelos tridimensionales de la circulación atmosférica (GCMs), que están basados en las leyes físicas que gobiernan la estructura y funcionamiento de la atmósfera, y que incluyen la interacción atmósfera-océanos. Una compilación del estado actual del desarrollo de estos modelos se presenta en los estudios preparados por el Panel Intergubernamental de Cambios Climáticos, IPCC-Grupo de Trabajo I. (IPCC, 1990, 1992).

El procedimiento hasta ahora empleado en la generación de los escenarios consiste en ajustar los valores climatológicos observados de las estaciones individuales por las diferencias o tasas de cambio obtenidas entre la situación de control ( $1 \times \text{CO}_2$ ) y la situación de una doble concentración de dióxido de carbono ( $2 \times \text{CO}_2$ ), generadas por el GCM para los cuadrados de grilla correspondientes a la región de interés. Este procedimiento ha sido empleado por varios autores en estudios de análisis de impactos de cambios climáticos sobre la agricultura (Rosenzweig, 1985; Adams et al., 1990; Singh y Stewart, 1991), la hidrología (Gleick, 1987), y estudios generales de impactos en países y regiones enteras (Smith y Tirpak, 1989; Nishioka et al., 1993; Hulme, 1996).

En el presente trabajo se propone una técnica diferente para la generación de escenarios climáticos, basada en las ideas propuestas por Robock y colaboradores (Robock et al., 1993). Esta técnica es diferente porque se utilizan los datos climatológicos y el juicio de expertos climatólogos como insumo en la definición de los escenarios y no solamente el valor directo proveniente de los GCMs. El Cuadro 1 presenta los pasos necesarios para la determinación de impactos de cambios climáticos en las actividades humanas y la Figura 1 ilustra el esquema metodológico planteado en los estudios de evaluación de los impactos sobre la agricultura.

### Comparación de las Salidas de los GCMs con el Clima de Venezuela

Uno de los pasos necesarios en la creación de escenarios climáticos, es la evaluación de la simulación climática regional, para la situación actual ( $1 \times \text{CO}_2$ ), de los modelos disponibles. Para el caso de Venezuela, se dispuso de las salidas de los modelos OSU (Oregon State University, Schlesinger et al, 1985), GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Labora-

## Cuadro 1

Pasos necesarios para determinar el impacto de los cambios climáticos sobre las actividades humanas

1. Seleccionar el tipo de cambio climático (Por ejemplo, calentamiento por efecto invernadero).
2. Seleccionar el sistema o actividad humana a ser afectado (agricultura, ecosistemas, recursos hídricos).
3. Seleccionar la técnica para determinar el impacto (modelo de simulación de cultivos, modelo ecológico, etc.)
4. Determinar los parámetros climáticos necesarios para ser usados en el análisis de impacto, basados en 1, 2 y 3.
5. Seleccionar la técnica para generar los escenarios climáticos.
6. Generar los escenarios.
7. Determinar el rango de impactos mediante la técnica seleccionada en 3 y los escenarios de 6. Conducir análisis de sensibilidad, usando la técnica seleccionada en 3, para determinar incertidumbre y propagación de errores, e identificar los componentes más sensitivos.
8. Repetir los pasos 1 al 7 para todas las combinaciones posibles de 1, 2, 3 y 5.
9. Determinar todas las respuestas humanas: tecnológicas, sociológicas, económicas, políticas y militares para cada uno de los impactos, individualmente o en combinaciones.
10. Asignar probabilidades a cada selección y resultado, y determinar el impacto humano neto.

Fuente: Robock, et al., 1993

tory. Manabe y Stouffer, 1980). GISS (Goddard Institute for Space Studies. Hansen et al., 1983) y UKMO (United Kingdom Meteorological Office. Wilson y Mitchell, 1987). Se dividió el país en celdas geográficas de 1 de latitud por 1 (de longitud y se seleccionaron nueve de estas celdas en las distintas regiones geográficas del país (Figura 2). Los detalles de esta parte del trabajo están contenidos en los informes del Taller Internacional sobre Variabilidad y Cambios Climáticos en Venezuela y el Caribe (Harwell, 1990).

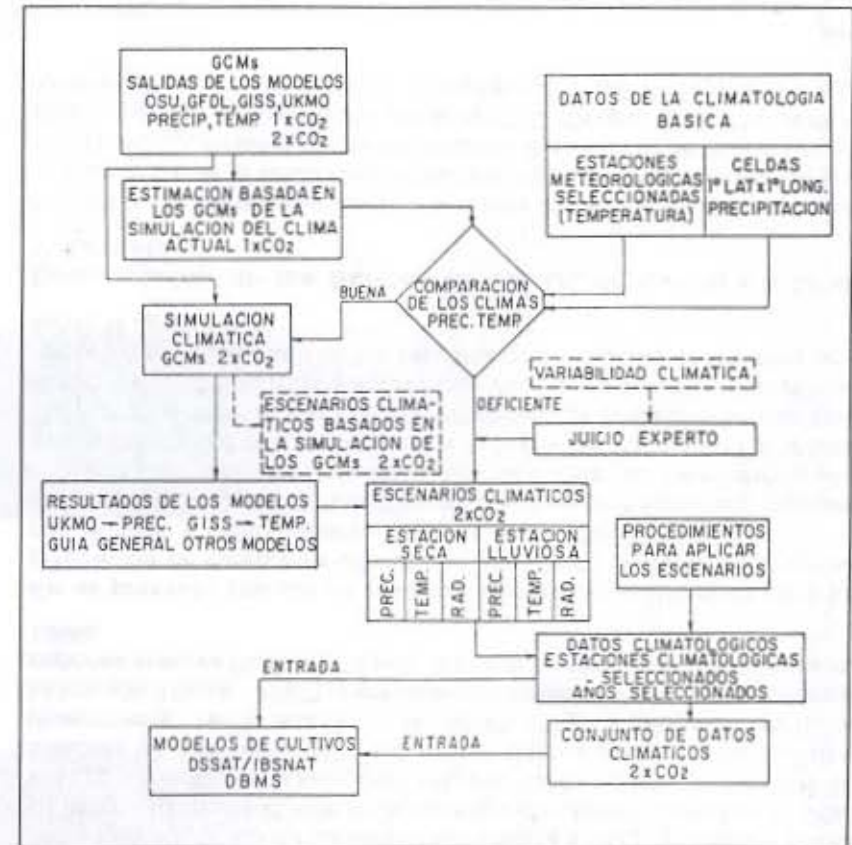


Figura 1. Esquema metodológico para la creación de los escenarios de  $2xCO_2$  a ser usados en los estudios de evaluación de los impactos de los cambios climáticos sobre la agricultura.

**Precipitación.** Las Figuras 3, 4, 5 y 6 muestran la distribución espacial (en mm/día) de la precipitación observada y la simulada por los modelos OSU, GFDL, GISS y UKMO, para los meses representativos de enero, abril, julio y octubre. La Figura 7 muestra una comparación entre la precipitación observada y la simulada, por los modelos utilizados, para algunas celdas geográficas seleccionadas (Maracaibo, Caracas, Barinas, Maturín, Puerto Ayacucho y Santa Elena de Uairén).



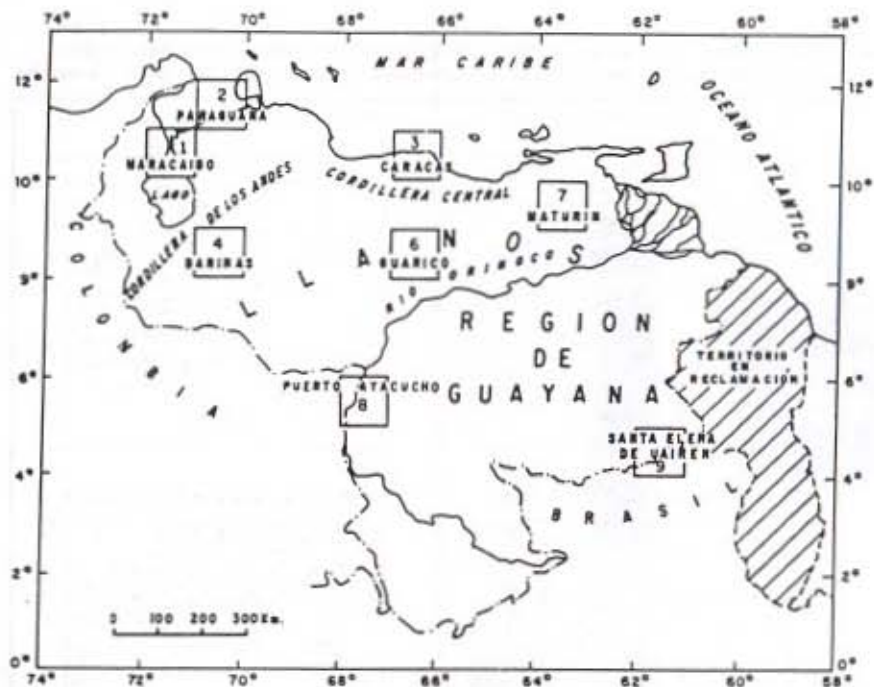


Figura 2. Celdas geográficas seleccionadas para la validación de los modelos GCMs.

De acuerdo con las comparaciones efectuadas, en general, se puede apreciar lo siguiente:

- La precipitación de enero es mejor simulada por el modelo GFDL, para la región sur del Orinoco y el Delta; por el OSU y el UKMO para la región de los Llanos occidentales y centrales y por el UKMO para la región nor-occidental. Para el resto del país ninguno de los modelos proporciona aproximaciones aceptables (Fig. 3).
- La precipitación de abril es mejor simulada por el modelo UKMO para la región sur del Orinoco, los Llanos occidentales y la cuenca del Lago de Maracaibo, y por el modelo OSU para la franja nortecostera y Llanos orientales. (Fig. 4).

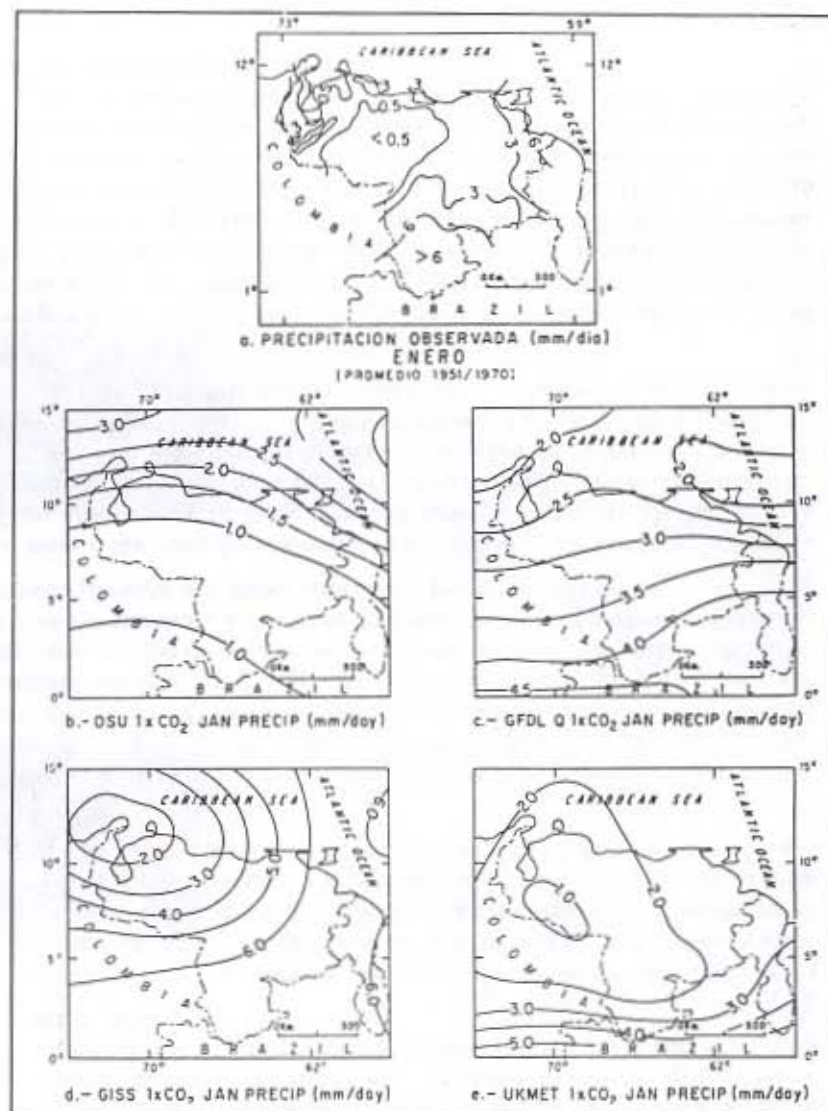


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación (mm/day) observada (a) y la simulada (1xCO<sub>2</sub>) por los modelos OSU (b), GFDL (c), GISS (d) y UKMET (e) para el mes de enero.

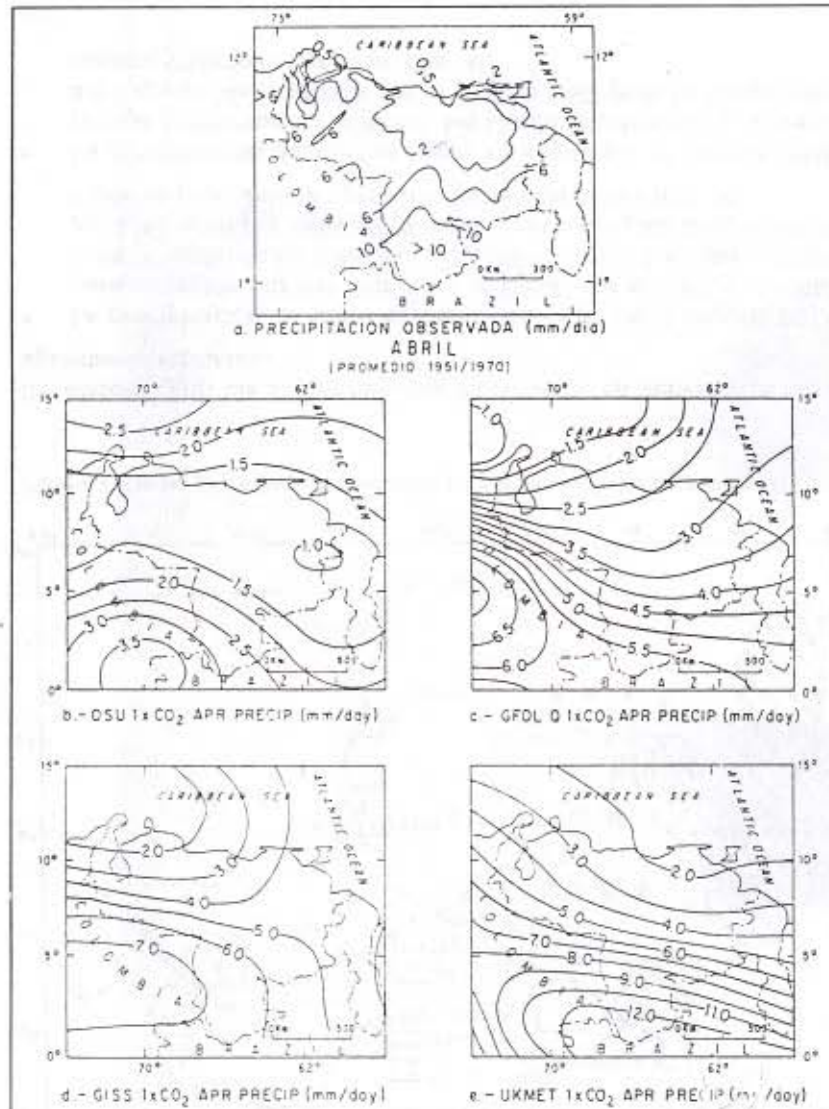


Figura 4. Distribución espacial de la precipitación (mm/día) observada (a) y la simulada (1xCO<sub>2</sub>) por los modelos OSU (b), GFDL (c), GISS (d) y UKMET (e) para el mes de abril.

- Para julio, ninguno de los modelos simula adecuadamente la alta precipitación de la región sur del Orinoco, que alcanza valores superiores a 10 mm/día. El modelo que más se aproxima es el UKMO, arrojando valores entre 6 y 10 mm/día. Para la región de los Llanos el UKMO da las mejores aproximaciones. Para la región nor-occidental el modelo GISS se aproxima mejor que el OSU, mientras que el GFDL y el UKMO dan valores pluviométricos muy altos. (Fig. 5).
- Para octubre los modelos GFDL y GISS resultan más aceptables para simular la precipitación en la región al sur del Orinoco. Para los Llanos, el mejor trabajo lo efectúa el modelo GISS seguido por el GFDL. Para la región nor-occidental el modelo GFDL es el más aproximado. Para este mes el modelo UKMO presenta un trabajo deficiente. (Fig. 7).

Si se divide el país en dos grandes regiones, tomándose como criterio el meridiano 70 W. (Barry et al, 1990), observamos que el modelo GFDL es el que mejor aproxima la variación estacional pluviométrica de tipo bimodal, característico al oeste de 70 W, mientras que para el caso del régimen unimodal, característico al este de 70 W, el modelo UKMO es el más aproximado. Los meses de inicio y ocaso del periodo lluvioso, en general parecen ser mejor simulados por el modelo GFDL.

En base a las consideraciones antes señaladas y a las comparaciones efectuadas entre la precipitación areal ponderada de las celdas geográficas (calculadas a partir del Atlas Climatológico de Venezuela, FAV) y la simulada por los modelos utilizados, se preparó el Cuadro 2, que indica que el modelo UKMO se presenta como el mejor candidato para simular las condiciones pluviométricas actuales, en la mayor parte del país.

**Temperatura.** En las regiones inter-tropicales la temperatura no es un elemento tan variable como la precipitación. Sin embargo, en un clima más cálido que el actual se debe esperar un incremento en la evaporación, lo que a su vez tiene efectos sobre la agricultura y recursos hídricos, particularmente en las regiones secas. De los modelos considerados, el GISS mostró las mejores aproximaciones a los valores de climatología de base de las estaciones utilizadas en la evaluación. (Figura 8, Cuadro 3), excepto en los Llanos centrales y occidentales y el extremo Suroriental del país.



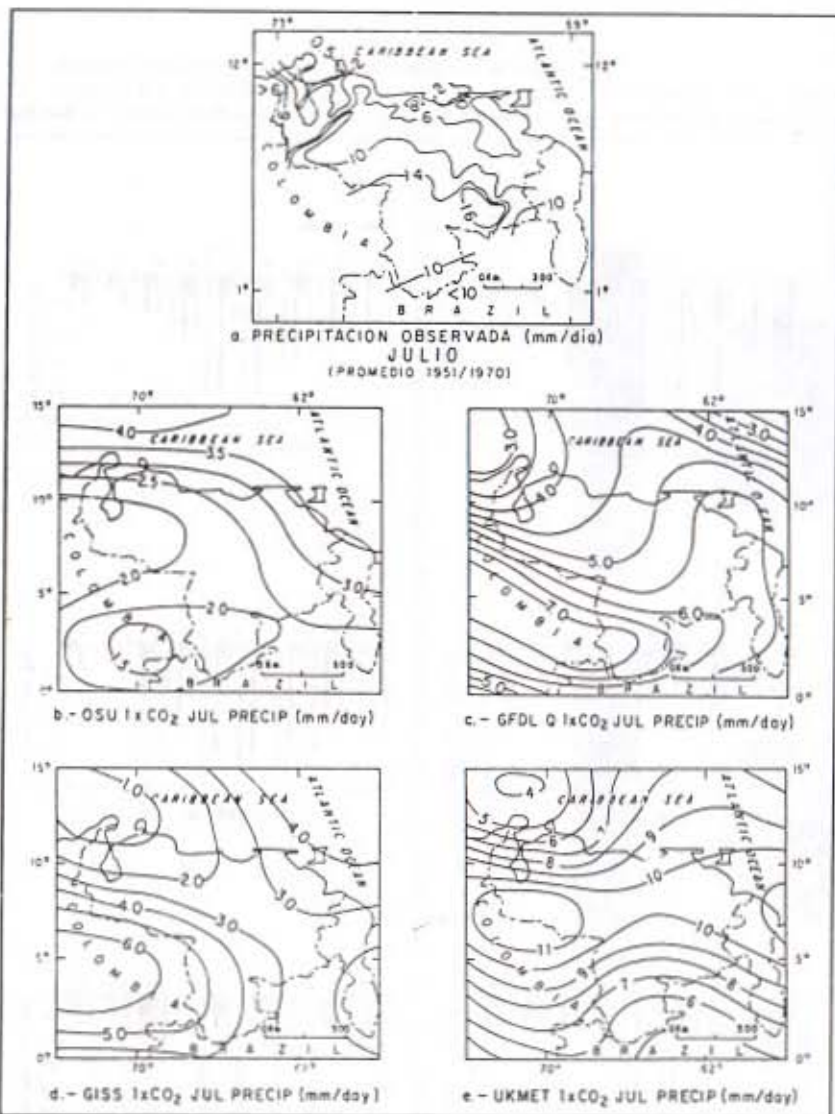


Figura 5. Distribución espacial de la precipitación (mm/day) observada (a) y la simulada (1xCO<sub>2</sub>) por los modelos OSU (b), GFDL (c), GISS (d) y UKMET (e) para el mes de julio.

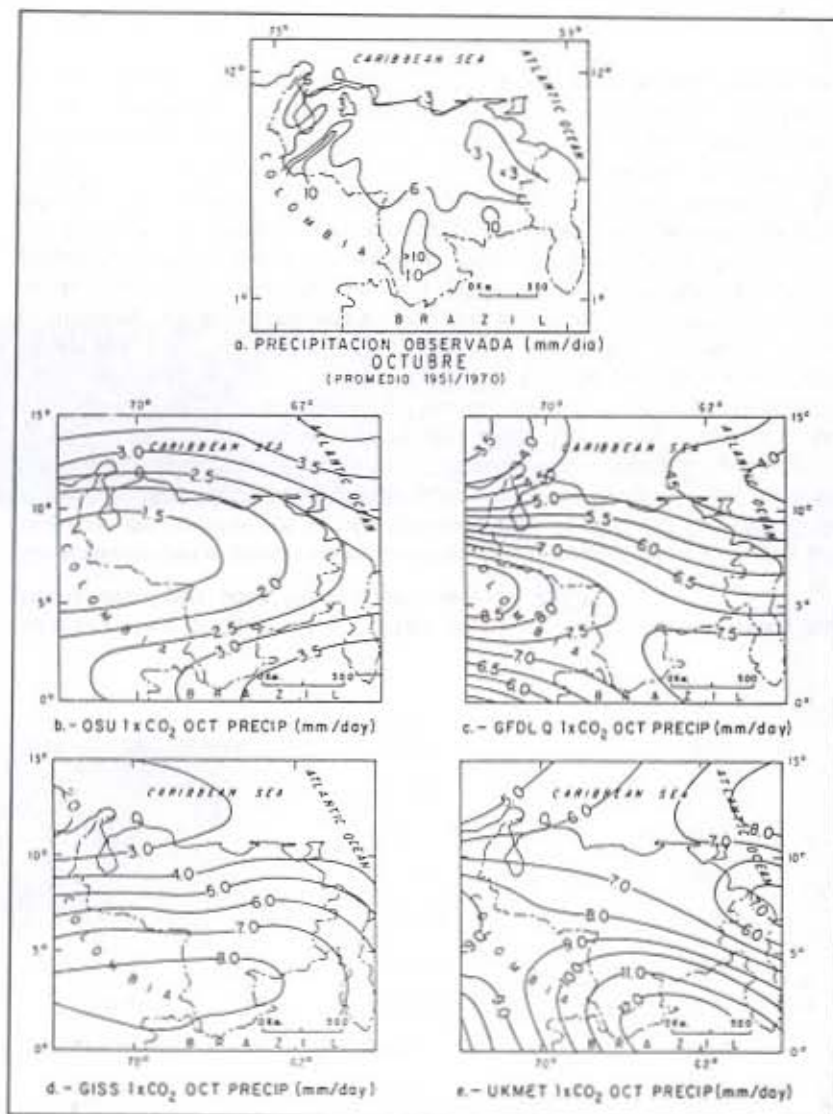


Figura 6. Distribución espacial de la precipitación (mm/day) observada (a) y la simulada (1xCO<sub>2</sub>) por los modelos OSU (b), GFDL (c), GISS (d) y UKMET (e) para el mes de octubre.

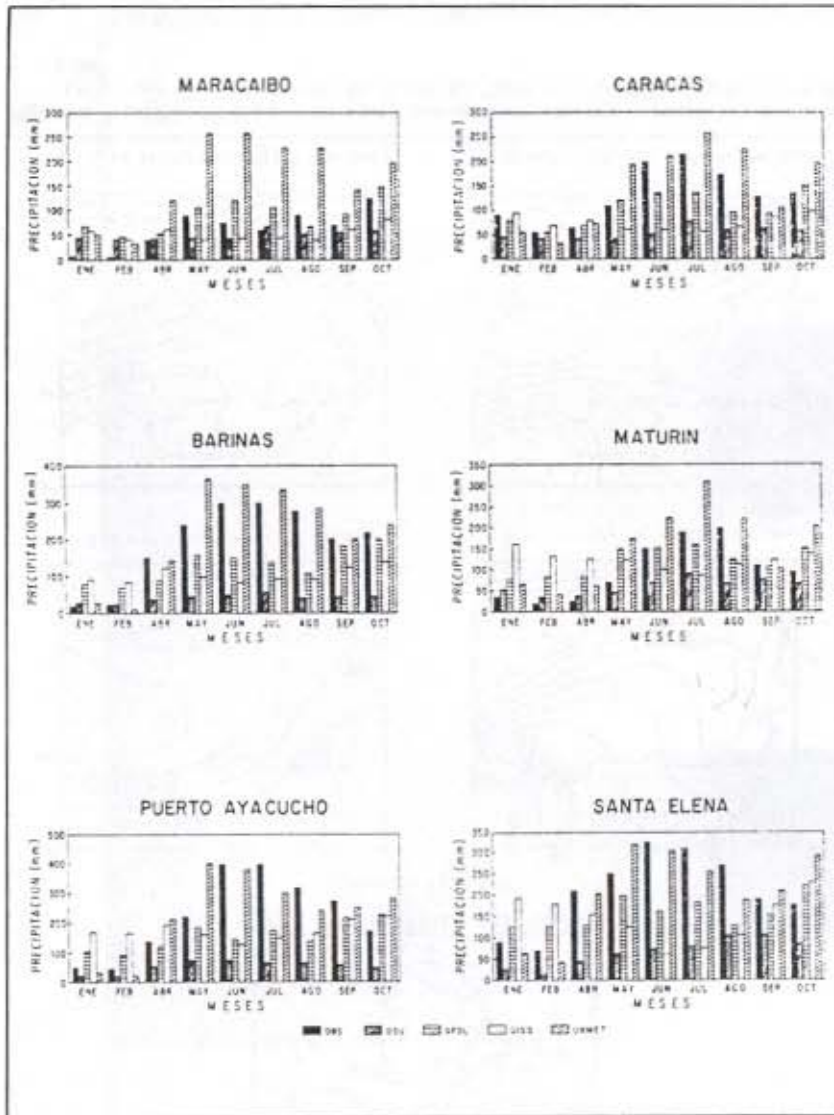


Figura 7. Comparación entre la precipitación mensual (mm) observada y la simulada ( $1xCO_2$ ) por los modelos OSU, GFDL, GISS y UKMET para enero, abril, julio y octubre para varias celdas geográficas seleccionadas.

**Cuadro 2**  
Modelos que mejor simulan la cantidad y régimen de precipitación en cada celda geográfica

Celda Geográfica	Cantidad de Precipitación	Régimen (Período Lluvioso)
1.- Maracaibo	OSU	GFDL
2.- Paraguaná	GISS	GFDL
3.- Caracas	UKMO	OSU
4.- Barinas	UKMO	UKMO
5.- Acarigua	UKMO	UKMO
6.- Guárico	UKMO	OSU
7.- Maturín	OSU/GFDL	GFDL
8.- Pto. Ayacucho	UKMO	UKMO
9.- Sta Elena Uairén	UKMO	UKMO

**Simulación Regional y Estacional de Cambios Climáticos Inducidos por una Concentración de  $2xCO_2$**

De acuerdo con el procedimiento antes señalado (Fig. 1), la distribución regional del cambio en la precipitación ( $2xCO_2/1xCO_2$ ) fue calculada sobre la base del modelo UKMO (Cuadro 4). El rango de los posibles cambios en la precipitación es de 0,7 (disminución) hasta 2,5 (aumento), pero en general predomina para casi todos los meses y regiones un incremento de la precipitación. Una disminución de la precipitación del mes de agosto, en el orden de 0,7 a 0,9, se presenta como una tendencia para las regiones con régimen unimodal. Agosto es, en la actualidad, un mes lluvioso importante para casi toda Venezuela. Los otros meses que podrían ser afectados por una disminución en la precipitación son enero y septiembre, para la región de los Llanos y Sur del Orinoco. Tendencias de incremento pluviométrico se señalan para febrero, abril, junio, julio y octubre, con valores proporcionales de 1,2 a 2,5. Los cambios más importantes para casi todo el país, exceptuando los Llanos orientales y el extremo Sudeste, se indican para febrero; que en la actualidad es un mes característicamente seco en casi toda Venezuela. Geográficamente las áreas con posibles grandes cambios serían



**Cuadro 3**

Modelos que mejor simulan la temperatura media de enero, abril, julio y octubre para cada celda geográfica

Celda Geográfica	Enero	Abril	Julio	Octubre	Modelo Candidato para cada Celda
1. Maracaibo	GISS	GISS	GISS	GISS	GISS
2. Paraguaná	GISS	GISS	GISS	GISS	GISS
3. Caracas	GISS	GISS	UKMO/GISS	GISS	GISS
4. Barinas	GISS	UKMO	UKMO	UKMO	UKMO
5. Acarigua	GISS	UKMO	UKMO	GISS	UKMO/GISS
6. Guárico	GISS	UKMO	UKMO	UKMO	UKMO
7. Maturín	GISS	UKMO/GISS	GISS	GISS	GISS
8. Pto Ayacucho	GISS	GISS	UKMO	GISS	GISS
9. Sta Elena	GISS	UKMO	UKMO	GISS	UKMO/GISS

**Cuadro 4**

Cambios de precipitación de acuerdo al modelo UKMO ( $2xCO_2 / 1xCO_2$ )

Celda Geográfica	Ene.	Feb.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
1. Maracaibo	1,0	2,0	1,0	1,0	1,1	1,4	0,8	1,2	1,1
2. Paraguaná	1,0	1,6	1,0	1,0	1,0	1,3	0,8	1,2	1,1
3. Caracas	1,0	1,3	1,3	1,0	1,4	1,3	0,8	1,0	1,1
4. Barinas	1,0	2,5	1,1	1,0	1,2	1,3	0,9	0,9	1,1
5. Acarigua	0,9	2,0	1,1	1,0	1,2	1,3	0,9	1,0	1,1
6. Guárico	0,8	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2	0,9	0,9	1,1
7. Maturín	0,9	0,8	1,5	1,3	1,5	1,2	0,9	0,9	1,2
8. Pto. Ayacucho	1,0	2,5	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0
9. Sta Elena	0,9	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	1,0

(Meses seleccionados de las salidas de los GCMs)

la región semi-árida al noroeste y la región de los Llanos Occidentales y Centrales, mientras que el extremo Sudeste presentaría, en promedio, una leve disminución de la precipitación.

Con respecto a la temperatura, la distribución regional de los cambios térmicos ( $2xCO_2 - 1xCO_2$ ) muestra que los posibles mayores incrementos tenderían a ocurrir en los Llanos y región Suroriental. Estacionalmente, octubre, seguido de abril, serían los meses con los cambios térmicos más altos y enero con el menor. (Cuadro 5).

**Cuadro 5**

Cambios de temperatura de acuerdo al modelo GISS ( $2xCO_2 - 1xCO_2$ )

Celda Geográfica	Enero	Abril	Julio	Octubre
1. Maracaibo	3,1	3,0	3,0	3,5
2. Paraguaná	3,0	3,0	3,0	3,5
3. Caracas	3,0	3,0	3,0	3,5
4. Barinas	2,9	3,2	3,0	3,4
5. Acarigua	2,9	3,1	3,0	3,5
6. Guárico	3,1	3,4	3,0	3,7
7. Maturín	3,1	3,4	3,2	3,5
8. Pto. Ayacucho	3,1	3,6	3,3	3,5
9. Sta Elena	3,6	3,5	3,6	4,1

### Escenarios de Cambios Climáticos para Venezuela

Requisitos para la Generación de Escenarios Climáticos. De acuerdo con Robock y colaboradores (Robock et al., 1993), un buen conjunto de escenarios de cambios climáticos debe:

- i. reflejar la física del sistema climático actual,
- ii. incluir varios tipos de forzamiento antropogénico, individualmente y en combinación,
- iii. incluir escenarios arbitrarios, para explicar los posibles forzamientos naturales y probar la sensibilidad del modelo,

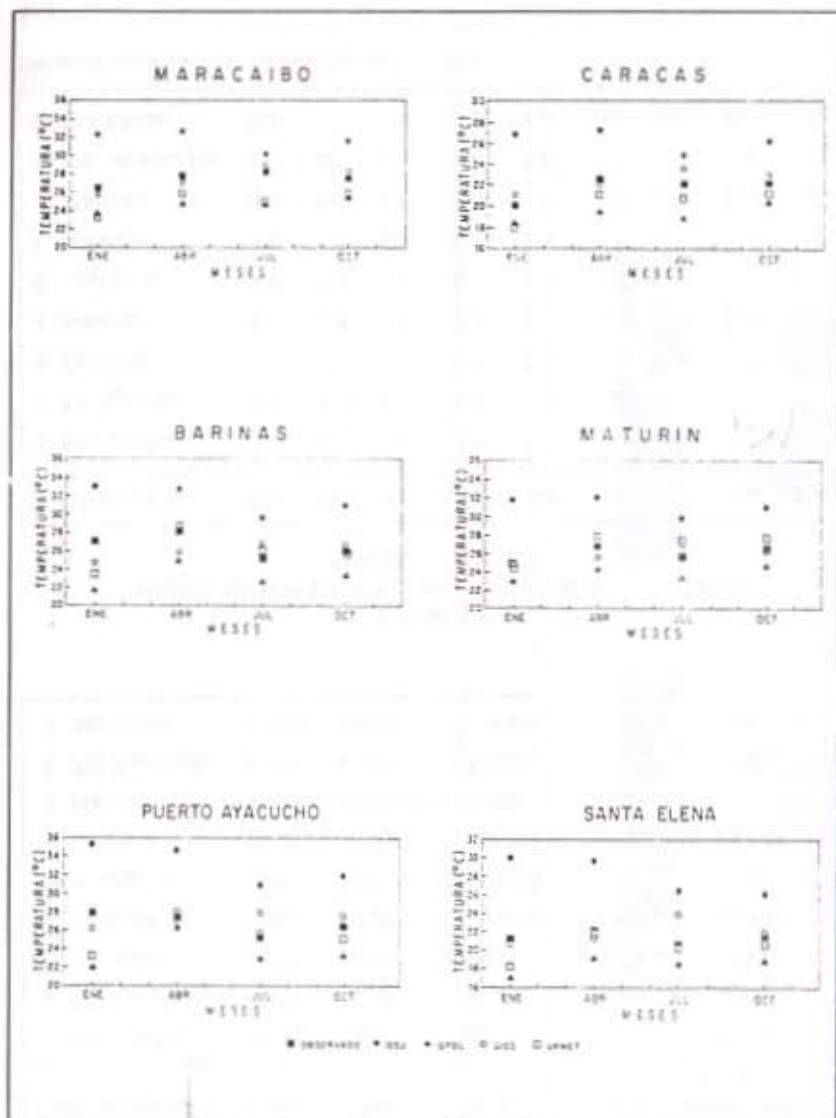


Figura 8. Comparación entre la temperatura media (°C) observada y la simulada ( $1\times\text{CO}_2$ ) por los modelos OSU, GFDL, GISS y UKMET para enero, abril, julio y octubre en lugares seleccionados.

- iv. especificar las variaciones temporales de los parámetros en cada localidad, y
- v. ser considerados como pruebas de sensibilidad y no ser tratados como pronósticos.

Es interesante notar que la dirección relativa de los cambios de cada parámetro es diferente para cada uno de los tipos de cambio climático, debido a las diferentes condiciones físicas de cada forzamiento. Dependiendo del forzamiento, la temperatura puede variar en la misma dirección o en dirección opuesta de la precipitación o insolación, y la precipitación e insolación pueden variar juntas o separadamente. En nuestro caso, se hizo más énfasis en los escenarios pluviométricos y térmicos. Los escenarios térmicos son de aumento, mientras que los pluviométricos, unos son de aumento y otros son de disminución. Esto enfatiza la importancia del requisito (ii) arriba indicado; es decir, que cada tipo diferente de forzamiento debe ser considerado separadamente, para entender los impactos potenciales de las actividades humanas sobre el clima.

De acuerdo con el procedimiento establecido en la Fig. 1, los patrones generales provenientes de los modelos GCMs, en especial los provenientes de los modelos UKMO y GISS, fueron combinados con información de la climatología observada para producir los escenarios del Cuadro 6. El procedimiento básico para aplicar los escenarios es tomar varios años de datos diarios de los registros históricos, a objeto de incluir un amplio rango con años secos y húmedos.

Los escenarios de cambios climáticos desarrollados en este trabajo, tienen como objetivo presentar una distribución estacional de temperatura, precipitación e insolación para Venezuela. La insolación fue tratada, a pesar de que no se hizo una comparación de valores observados con valores simulados, por no disponer de las salidas de los GCMs para esta variable climática. Estas tres variables son básicas en la mayor parte de los modelos de simulación de cultivos. Estos escenarios no deben considerarse como predicciones de un futuro cambio de clima, inducido por incrementos en la concentración de dióxido de carbono y otros gases de efecto-invernadero en la atmósfera o por una extensiva deforestación en la cuenca amazónica, como tampoco deben tratarse como probables eventos climáticos que ocurrirían debido a la variabilidad misma del sistema climático; sino que ellos deben ser tomados como patrones de cambios, auto-



**Cuadro 6**  
Escenarios de Cambios Climáticos para Venezuela  
para  $2 \times \text{CO}_2$

Sensibilidad del Sistema Climático	Periodo	Cambios en la Temperatura		Cambios en la Precipitación %	Cambios en la Radiación Solar %
		Máx. día	Mín. día		
Alta	Seco	3,5	4,5	0	0
	Lluvioso	3,0	3,0	+ 40 Ps	- 40 Rs/-20 Rd
	Lluvioso	3,0	3,0	+ 40 Ps	- 20 Rd
	Lluvioso	3,0	3,0	+ 40 Ps	+ 10 Rd
Media	Seco	2,0	3,0	0	0
	Lluvioso	1,5	2,0	+ 20 Ps	- 20 Rs/-10 Rd
	Lluvioso	1,5	2,0	+ 20 Pd	- 10 Rd
	Lluvioso	1,5	2,0	+ 20 Pd	+ 5 Rd
Baja	Seco	1,5	1,5	0	0
	Lluvioso	1,5	1,5	0	0

**Huracanes:** En una atmósfera más cálida, la posibilidad de huracanes aumenta. Para simular este aspecto agregar un día en septiembre u octubre con lluvia de 25 cm.

**Ps** = Aumento en el número de los eventos pluviométricos, sin cambiar la intensidad de cada evento.

**Pd** = Aumento en la cantidad de lluvia, sin aumentar el número de días con lluvia.

**Rs** = Cambios en la radiación solar o insolación para los días Ps.

**Rd** = Cambios en la radiación solar o insolación para los días sin cambio de Rs o para todos los días con cambios de Pd.

**Mes seco** = Mes con precipitación inferior o igual a 5 cm.

#### DEFORESTACION

Cambios en las temperaturas máxima y mínima de + 1 °C, para todos los meses.

Reducción de un 20 % en la precipitación de todos los meses.

Aumento de un 20 % en la insolación, para todos los meses (sujeto a las limitaciones de insolación máxima para cielos despejados).

#### DEFORESTACION Y $2 \times \text{CO}_2$

Agregar 1 °C a cada uno de los valores de temperatura de los escenarios  $2 \times \text{CO}_2$ .

Agregar 20 % a los escenarios pluviométricos de  $2 \times \text{CO}_2$ .

consistentes y plausibles, basados en la estructura y funcionamiento físico del clima. Los pasos a seguir para la aplicación de estos escenarios, en la evaluación de posibles impactos de los cambios climáticos sobre la agricultura y los recursos hídricos, están descritos en los trabajos de Robock et al. (1993) y Acevedo et al. (1991). Ejemplos de aplicación, para el caso de impactos sobre determinados cultivos agrícolas del país, están dados en Maytín et al. (1995) y Acevedo et al. (1995).

#### DISCUSION Y CONCLUSIONES

El uso de modelos climáticos tridimensionales GCMs, constituyen la herramienta más idónea, desde el punto de vista científico, para la generación de escenarios de cambios climáticos. Sin embargo, dadas las deficiencias de estos modelos en simular los climas regionales actuales, a pesar de que los GCMs simulan relativamente bien la variabilidad del clima a escala global, resulta altamente riesgoso tomar los valores directamente de los GCMs y aplicarlos como escenarios. La técnica de generación de escenarios presentada en este trabajo, basada en las propuestas de los trabajos de Robock (1989) y Robock y colaboradores (Robock, et al., 1993), además de fundamentarse en los resultados de aquellos modelos que mejor simulan el clima actual, incluye elementos importantes de la variabilidad del clima.

Las diferencias que presentan las comparaciones entre precipitación observada y simulada ( $1 \times \text{CO}_2$ ) por los diferentes modelos, son el resultado de la estructura y física de los GCMs utilizados. El modelo OSU tiende a producir montos moderados de precipitación, por lo que no llega a simular con propiedad las altas precipitaciones de la región al sur del Orinoco. Este modelo parece funcionar mejor para la región nor-occidental y los Llanos occidentales, en el período seco. El modelo UKMO es más eficiente en generar altas precipitaciones, por lo que se adecúa mejor para la región al sur del Orinoco y los Llanos, principalmente para el período lluvioso.

Los escenarios climáticos propuestos sugieren que para una concentración de  $2 \times \text{CO}_2$ , la temperatura experimentaría un incremento promedio entre 1,5 y 4,0 °C, valores que estarían de acuerdo con el rango dado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1986) y por el del Panel Intergubernamental de Cambios Climáticos (IPCC, 1990, 1992, 1996b). Los escenarios de temperatura, propuestos en este trabajo, presentan valores menores que los suministrados por Robock, et al. (1993), ya que se generaron en base al modelo GISS y no al UKMO.

Esto concuerda más con los resultados de la mayor parte de autores que señalan que el mayor incremento del calentamiento superficial ocurriría en las altas latitudes y el menor cerca del ecuador (MacCracken y Budyko, 1990; IPCC, 1992).

Para la precipitación, se mantienen los cambios propuestos en los trabajos anteriores (Robock, et al. 1993; Harwell, 1990), que incluyen tres alternativas: 0% (sin variación), 20% y 40% de incremento. Para la insolación los cambios propuestos van de 0 a 20% ó 40%, dependiendo de los tipos de cambio en la precipitación. (Ps o Pd, véase Cuadro 6).

Los escenarios para deforestación indican un aumento de 1 °C en la temperatura, para todos los meses, una reducción de la precipitación de hasta un 20% y un aumento de la insolación de hasta un 20% (limitado por la insolación máxima para el caso de cielos despejados). Los escenarios combinados de 2xCO<sub>2</sub> y deforestación, sugieren agregar a los escenarios planteados para 2xCO<sub>2</sub>, 1 °C a los valores de temperatura y 20 % a los valores de precipitación.

Finalmente, los procedimientos específicos para aplicar estos escenarios necesitan mayor elaboración. Ello requerirá de un mejor conocimiento de los aspectos regionales de la variabilidad del clima en Venezuela.

## REFERENCIAS CITADAS

- Acevedo, M., Jaimez, R., Maytín, C., Tonella, G. y M. Harwell, 1995. Assessing potential impacts of CO<sub>2</sub> -and deforestation- induced climate change on maize and black bean in Venezuela. *Ecotrópicos* 8 (1-2): 39-52.
- Acevedo, M. 1989. Proyecto PAN-EARTH: Caso de Estudio Venezuela. Reporte Final de los Minitalleres efectuados en Caracas y Mérida. Mayo de 1989.
- Acevedo, M., Tonella, G. y R. Jaimez. 1989. PAN EARTH Project: Venezuela Case Study.
- Acevedo, M., Andressen, R., Maytín, C., Jaimez, R. y La Cruz, A. 1991. Estudio preliminar de los posibles impactos de los cambios climáticos en Venezuela. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Informe Final, 217 pp.
- Adams, R. M., Rosenzweig, C., Peart, R. M., Ritchie, J. T., McCarl, B. A., Gloyer, J. D., Curry, R. B., Jones, J. W., Boote, K. J. y H. Allen, Jr. 1990. Global Climate Change and U.S. Agriculture. *Nature*, 345: 219-224.

- Barry, R. G., Riehl, H. R. and R. Pulwarty. 1990. *Synoptic climatological studies of precipitation regimes in Venezuela*. CIRES, Univ. of Colorado. National Science Foundation. Final Report 27 pp.
- Bravo, R., Canadas, L., Estrada, W., Hodges, T., Knapp, G., Ravelo, A., Plachuelo, A., Rovere, O., Salcedo, T. y Yugeha, T. 1988. The effects of climatic variations on agriculture in the Central Sierra of Ecuador. En: Parry et al. 1988. *The impacts of climatic variations on agriculture*. Kluwer Academic Press, 800 pp.
- Fariñas, M., Jaimez, R., Andressen, R. y M. Acevedo. 1990. Relaciones clima-vegetación en treinta estaciones del sur del Orinoco. XL Convención de la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (ASOVAC). Caracas: Noviembre.
- Flenley, J.R. 1979. The late quaternary vegetational history of the equatorial mountains. *Progress in physical geography*, 3: 488-509.
- Gleick, P.H. 1987. Regional hydrological consequences of increases in atmospheric CO<sub>2</sub> and other trace gases. *Climatic Change*, 10, 2: 137-160.
- Guzmán-Pérez, J.E. 1988. *El cultivo de la caraota y el maíz*. Caracas: Espasande Editores, 310 pp.
- Hansen, J., Russell, G., Rind, D., Stone, P., Lacis, A., Lebedeff, S., Ruedy, R. and L. Travis. 1983. Efficient three-dimensional general circulation models for climate studies. Model I and II. *Mon. Wea. Rev.*, 111: 609-662.
- Harwell, M. 1990a. PAN EARTH/CEACT international workshop on climate variability and climate change in Venezuela and the Caribbean region. Mérida, Venezuela, 23-27 April 1990. Final Report.
- Harwell, M. 1990b. Taller internacional sobre evaluación de los efectos ecológicos de los cambios climáticos en Venezuela. Taller PAN EARTH/IVIC/MARNR/Fundayacucho. Caracas: 16-20 de julio de 1990.
- Houghton, J. T., Kenkins, G. J. y J. J. Ephraïms, (Eds.) 1990. *Climate change: The IPCC scientific assessment*. Cambridge, Cambridge Univ. Press. 365 pp.
- Hulme, M. (Ed.). 1996. *Climate change and Southern Africa: an exploration of some potential impacts and implications for the SADC region*. W.W.F. International and Climatic Research Unit, UEA, UK. 103 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1990. *Scientific assessment of climate change*. World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme. Cambridge Univ. Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1992a. *Climate change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific assessment*. Edited by



- J.T. Houghton, B.A. Callander y S. K. Varney. WMO/UNEP. Cambridge Univ. Press, 200 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1992b. **Supplement science assessment. Meeting of the science assessment working group of the IPCC.** Guangzhou, China, January, 1992.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996a. **Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses.** WMO/UNEP. Cambridge Univ. Press, 879 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996b. **Climate change 1995: The science of climate change.** WMO/UNEP. Cambridge Univ. Press, 567 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996c. **Regional climate change workshop report.** (Sept. 23-27). IPCC/WMO/UNEP. Imperial College, London.
- International Council of Scientific Unions/World Meteorological Organization: **World Climate Research Programme (ICSU/WMO-WCRP).** 1991. **Global Climate Modelling.** WCRP-55 WMO/TD No. 411, 27 pp.
- ICSU/WMO-WCRP. 1992. **Report of the Second Session of WCRP Steering Group on Global Climate Modelling.**
- Jung, H. J. y W. Bach. 1985. GCM-derived climatic change scenarios due to a CO<sub>2</sub>-doubling applied for the Mediterranean Area. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B*, 35: 323-339.
- Kemp, D. D. 1991. The greenhouse effect and global warming: a Canadian perspective. *J. of the Geographical Association*, 76, 331:121-130.
- Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy J.*, 75: 779-788.
- Manabe, S. y R. J. Stouffer. 1980. Sensitivity of a global climate model to an increase of CO<sub>2</sub> concentration in the Atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 85: 5529-5554.
- Maytin, C., Acevedo, M., Jaimez, R., Andressen, R., Robock, A. y A. Azócar. 1994. Effects of climate change on the phenology and yield of maize in Venezuela. *Climatic Change*, 29: 189-211.
- McCracken, M.C. y M.I. Budyko, eds. 1990. **Prospects for Future Climate: A Special US/USSR Report on Climate and Climate Change** Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, Inc. 270 pp.
- Nishioka, Sh., Harasawa, H., Hashimoto, H., Ookita, T., Masuda, K. y T. Morita. 1993. **The potential effects of climate change in Japan.** Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan. 93 pp.

- Parry, M. L., y P. N. Duinker. 1990. Agriculture and forestry. En: Yzrael, Y.A. y M. Hashimoto, Eds. **Potential impacts of climate change.** Report from Working Group II, IPCC. Chapter 2. WMO/UNEP.
- Primault, B. 1979. Epidemiology of insects and other diseases. En Seeman, J., Chirkov, Y.Y., Lomas J. y B. Primault. **Agrometeorology.** Springer-Verlag, 324 pp.
- Robock, A. 1979. The "Little Ice Age": Northern hemisphere average observations and model calculations. *Science*, 206: 1402-1404.
- Robock, A. 1989. GCM greenhouse warming scenarios for Africa. Paper presented at the PAN-EARTH Workshop on Effects of Climate Change with Emphasis on Sub-Saharan Africa. Saly, Senegal, Sept. 11-15, 1989.
- Robock, A., Turco, R. P., Harwell, M. A., Ackerman, T. P., Andressen, R., Chang, H. and M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of general circulation model output in the creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climatic Change*, 23: 293-335.
- Rosenzweig, C. 1985. Potential CO<sub>2</sub>-induced climate effects on North American wheat producing regions. *Climatic Change*, 7, 4: 367-389.
- Schlesinger, M. E., Gates, W. L. y Y. J. Han. 1985. The role of the ocean in CO<sub>2</sub>-induced climate change. Preliminary Results from the OSU coupled atmosphere-ocean general circulation model. En: J. C. J. Nihoul, ed. **Coupled ocean-atmosphere models.** Elsevier Science Publishers, B. V. Amsterdam pp. 447-478.
- Schubert, C. 1992. The glaciers of the Sierra Nevada de Mérida (Venezuela): A photographic comparison of recent deglaciation. *Erdkunde*, 46: 58-63.
- Shukla, J., Nobre, C. y P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247: 1322-1325.
- Singh, B. y R.B. Stewart. 1991. Potential Impacts of a CO<sub>2</sub> induced climate change using the GISS scenario on agriculture in Quebec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 35: 327-347.
- Smith, J. B. y D. A. Tirpak, (Eds.) 1989. **The potential effects of global climate change on the United States.** Environmental Protection Agency, Washington, D. C. 413 pp.
- United Kingdom Department of the Environment (UKDOE). 1991. **The potential effects of climate change in the United Kingdom.** HMSO. 124 pp.
- United Nations Environment Programme. 1989. **Criterion for assessing vulnerability to sea level risk: a global inventory of high risk areas.** UNEP and the Government of the Netherlands. Draft Report, 57 pp.
- U.S.A. National Research Council. 1979. **Carbon dioxide and climate: a scientific assessment.** National Academy Press, Washington, D.C.

- U.S.A. National Research Council. 1983. *Changing climate*. National Academy Press, Washington, D.C. 496 pp.
- U.S.A. National Research Council. 1987. *Current issues in atmospheric change*. National Academy Press, Washington, D.C. 39 pp.
- Van der Hammen, T. 1974. The pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *J. of Biogeography*, 1: 3-26.
- Wilson, C.A. y J.F.B. Mitchell. 1987. Simulated climate and CO<sub>2</sub> induced climate change over Western Europe. *Climatic Change*, 10: 11-42.
- Wong, S. C. 1979. Elevated atmospheric partial pressure of CO<sub>2</sub> and plant growth. I: Interaction of nitrogen nutrition and photosynthetic capacity in C3 and C4 plants. *Oecologia*, 44: 68-74.
- Woodrow, I. E. y J. A. Barry. 1988. Enzymatic regulation of photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation in C3 plants. *Annual Rev. Plant Physiology and Mol. Biol.*, 39: 533-594.
- World Meteorological Organization. 1986. *Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts*. Villach, Austria: 9-15 October 1985. World Climate Programme Report N°. 661, WMO, Geneva, Switzerland, 78 pp.

## EL ENFOQUE DE SISTEMA Y AMBIENTOLOGÍA

Antonio De Liso  
Centro de Estudios Integrales del Ambiente  
CENAMB-UCV  
Caracas-Venezuela

### RESUMEN

En este papel de trabajo se persigue presentar y discutir las implicaciones metodológicas que se derivan de la interpretación sistémica de la realidad como complejidad organizada, haciéndose una referencia particular al significado que tiene en el intento de constitución de una ciencia integral del ambiente o ambientología.

Tomando como base el carácter paradigmático del concepto de sistema, se realiza un esbozo de los aportes que fundamentan al sistemismo como soporte de una práctica científica alternativa al positivismo cartesiano de los «especialistas» del ambiente.

El planteamiento de estos aspectos permite definir el marco de referencia que ayuda a comprender el alcance y significado de los factores claves para el estudio de sistema como unidad compleja de elementos que no pueden ser seccionados para su estudio atomizado.

Para finalizar, se realiza un balance de la situación actual de la perspectiva sistémica, especificando un conjunto de normas que permiten entender la utilidad del enfoque de sistemas para el estudio científico del ambiente como continuo abiótico cultural.

**Palabras clave:** Sistema, Entropía, Neguentropía, Ambientología

### ABSTRACT

In this paper introduces and discusses the methodological implications derived from the systemic interpretation of reality as an organized complexity; special reference is given to this meaning as in its attempt to form an Environmental Science or Environmentology.

Based on the paradigmatic character of the concept of system, we have presented an outline of the contributions given by the systemic approach to support a scientific alternativa in front of the conventional cartesian's positivism in environmental studies. The discussion of these aspects allows us to define