

---

# EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y SU MANIFESTACIÓN EN COLOMBIA

---

**José Daniel Pabón**

---

Meteorólogo. PhD. Meteorología.  
Profesor Universidad Nacional de Colombia.  
E-mail: jdpabonc@unal.edu.co

## RESUMEN

Con base en análisis del comportamiento de largo plazo en diferentes componentes del sistema climático (particularmente de la atmósfera, océano y criosfera) se presenta la manifestación del cambio climático en Colombia; se presenta igualmente los resultados preliminares de la construcción simulada de las condiciones de clima que se podrían observar a finales del siglo XXI sobre el territorio colombiano bajo el escenario de una duplicación del dióxido de carbono atmosférico.

**Palabras Claves:** Cambio climático global, precipitación, temperatura del aire, climatología, ascenso del nivel del mar.

## ABSTRACT

Based on the analysis of the long term behavior in different components of the climate system, (particularly the atmosphere, the ocean, and criosphere) the evidences of the climate change in Colombia is presented; also it is showed the preliminary results of simulated construction of the possible climate conditions which could be observed at the end of the 21st Century under a doubled atmospheric carbon dioxide scenarios.

**Key words:** *Global climatic change, rainfall, air temperature, climatology, sea level rise.*

## INTRODUCCIÓN

En la segunda mitad del siglo XX comenzó la preocupación sobre la posibilidad de un cambio climático; en la actualidad prácticamente no hay dudas de que la actividad humana está alterando de diversas formas el balance de radiación del sistema superficie-atmósfera del planeta que mantiene el clima de La Tierra. Las alteraciones de dicho balance se producen por que: a través de la emisión de gases se está reforzando el efecto invernadero atmosférico; por medio del cambio del uso de la tierra se está cambiando las propiedades radiativas de la superficie terrestre. Si bien hay muchos factores que intervienen en el clima de La Tierra, se ha identificado que el aumento antropogénico de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha jugado un papel importante en dicho calentamiento.

Lo anterior está conduciendo hacia un calentamiento de la atmósfera global, el cual no es homogéneo en todo el planeta: algunas regiones tendrán mayor calentamiento que otras; según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*IPCC, 2001a*), la temperatura media global del aire ha aumentado en 0.6°C durante el último siglo. Estas alteraciones de la temperatura del aire generan cambios en la distribución espacial de las demás variables climatológicas produciendo lo que se ha denominado cambio climático, el cual es también diferenciado espacialmente. Los cambios que se presentan en el clima pueden afectar en diverso grado los sistemas socioeconómicos y ambientales en diferentes regiones y países del mundo (*IPCC, 2001b*), por lo cual resulta muy importante conocer cuales son los cambios actuales y futuros del clima en determinada región geográfica, particularmente en el territorio colombiano.

En lo relacionado con el cambio climático, Colombia participa en dos sentidos: por una lado, la actividad humana en el territorio colombiano aporta al problema de los cambios del balance de radiación del sistema superficie-atmósfera y, de otro, se ve

afectada por cambios que genera el fenómeno global en el clima nacional. Dada la importancia del tema, en el país se han desarrollado estudios en los dos aspectos (ver por ejemplo *Eslava & Pabón, 2002; IDEAM, 2001*), donde se resumen los resultados de dichas investigaciones).

En este trabajo se presenta la metodología y los resultados del análisis de las manifestaciones del cambio climático en Colombia, así como de la construcción del escenario climático que se podría observar en diferentes regiones del país a finales del siglo XXI bajo condiciones de una duplicación del dióxido de carbono atmosférico. Vale la pena mencionar parte de las conclusiones de este trabajo fueron tomadas como base para estimar los posibles impactos (socioeconómicos y ambientales) del cambio climático en Colombia con lo cual se fundamenta la parte correspondiente en documento que se presentó como la Comunicación Nacional de Colombia a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*IDEAM, 2001*).

## INFORMACIÓN Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

La identificación de las evidencias del cambio climático en Colombia que se expone aquí, se realizaron con base en el análisis de datos e información climatológica primaria, así como con base en el análisis de información y resultados suministradas por otras fuentes. En el caso de la elaboración de escenarios climáticos para el futuro, se acudió a la combinación de escenarios generados por modelos climáticos sofisticados con la denominada reducción estadística de escala (*IPCC-TGCLA, 1999*).

### Información y metodología para la identificación de las evidencias de cambio climático en Colombia

Como indicadores del cambio climático se tomaron las tendencias de largo plazo en los procesos de la atmósfera, del océano y de la criosfera. Para el efecto, se tomaron datos de las

variables de temperatura media mensual del aire, precipitación mensual, el nivel medio mensual del mar y la extensión de glaciares de montaña. Los datos de temperatura del aire, de precipitación y del nivel del mar se tomaron del Sistema de Información Ambiental del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para las estaciones listadas en la Tabla 1. El análisis de la extensión de los glaciares se basa en información disponible en los trabajos de *Florez*, 1992 a, b y en *IDEAM*, 1998.

La selección de las estaciones climatológicas para el estudio se fundamentó en la disponibilidad de datos para un período lo suficientemente largo (varios decenios y que incluyera el intervalo 1961-1990 para efectos del cálculo de la normal climática), así como la calidad de los datos, lo que se verificó con la utilización de métodos estadísticos básicos de control de calidad.

La identificación de los cambios de largo plazo en las variables temperatura del aire, precipitación y nivel del mar se realizó mediante el cálculo de las tendencias en las series históricas de valores mensuales de las estaciones citadas en la Tabla 1. (ver *Pabón et al.*, 2002). Para el análisis de las tendencias de ascenso del nivel del mar se consideró igualmente la información de topografía de la superficie del océano suministrada por el programa TOPEX/Poseidón (ver <http://topex-www.jpl.nasa.gov/science/science.html>, por ejemplo). La cuantificación del ritmo del retroceso de los glaciares se hizo mediante la comparación de la extensión de los mismos en diferentes épocas de acuerdo con los datos publicados por diferentes autores (*Florez* 1992a, b) sobre el tema.

### Metodología para las parte de proyecciones

La elaboración del escenario climático para finales del siglo XXI se realizó para la condición de una duplicación de dióxido de carbono en la atmósfera de esa época futura. Se utilizaron modelos climáticos globales (*Pabón et al.*, 2001a; *Pabón et al.*, 2002) y el método de reducción de escala

estadístico (*Pabón et al.*, 2001b; *Bernal et al.*, 2001) para ajustar los resultados de los modelos a las regiones del territorio colombiano para las cuales se elaboraron los escenarios.

En cuanto a los modelos, se tomaron los datos generados por seis modelos climáticos globales del Data Distribution Center (DDC) del Task Group on Climate Impact Assessment - TG CIA (ver *IPCC-TG CIA*, 1999). Los modelos fueron los de los siguientes centros e institutos: Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (CCCma); Center for Climate Research Studies (CCSR) de Japón y National Institute for Environmental Studies (NIES) de Japón; ECHAM4/OPYC3 y ECHAM3/LSG del Deutsches Klimarechenzentrum DKRZ, y modelo del Deutsches Klimarechenzentrum DKRZ, Alemania; de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia; del Hadley Centre for Climate Prediction and Research HCCPR.

La selección del modelo que mejor simula el clima regional se efectuó de la siguiente manera:

- Descripción del clima real para el período 1961-1990 tomando como base los datos del NCEP/NCAR Reanalysis (*Kalnay et al.*, 1996).
- Descripción del clima 1961-1990 producido por simulaciones de los modelos mencionados.
- Comparación del clima simulado y el clima real.

Después de comparar el grado de aproximación con el cual cada modelo simula el clima regional para clima del período 1961-1990, se identificó al modelo ECHAM-4 como el más cercano (*Pabón et al.*, 2002). Con el ECHAM, se simuló el clima global para una concentración de 375 ppm de volumen (escenario 1xCO<sub>2</sub>, el cual correspondería a una situación en el decenio de los 90s) y para 750 ppm de volumen (escenario 2xCO<sub>2</sub> o dióxido de carbono duplicado) de CO<sub>2</sub>; se estableció la diferencia entre los dos escenarios para identificar la respuesta del clima a la duplicación de CO<sub>2</sub> en el

contexto de la América tropical. Pruebas similares se efectuaron con el modelo CCM3 (Pabón *et al.*, 2001a).

Con los datos históricos (series de los datos simulados) del ECHAM (del CCM3 en otra prueba) se exploró el método de reducción de escala estadística de la siguiente manera: las series de diferentes variables (componentes zonal y meridional del viento, temperatura del aire, humedad, entre otros) se relacionaron con las series históricas generada por las observaciones reales de las estaciones climatológicas enumeradas en la Tabla 1. Para la relación entre los dos juegos de datos se utilizó la correlación canónica (Wilks, 1995). De esta forma se establecieron ecuaciones de relación entre variables del modelo y variables de superficie (de las estaciones climatológicas) para cada región.

Para elaborar los escenarios climáticos en cada región bajo duplicación del dióxido de carbono, se utilizaron los datos de las variables generados por el modelo para la condición de  $2xCO_2$  y se les aplicaron las ecuaciones de relación establecida para cada estación climatológica. De esta manera se obtuvieron los posibles cambios en la temperatura media anual y en la precipitación anual que generaría una duplicación del  $CO_2$ .

### TENDENCIAS RECIENTES DEL CLIMA Y EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

#### Tendencias de temperatura media del aire y de la precipitación

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de tendencias recientes de la

temperatura media del aire a dos metros sobre la superficie y la precipitación media registradas en diferentes regiones del país. Es posible observar un incremento generalizado de la temperatura del aire, el cual está relacionado principalmente con una manifestación del calentamiento global en esta región. El análisis permitió establecer que si bien hay un incremento de la temperatura del aire, el calentamiento no es homogéneo, hay regiones que se calientan más que otras.

En el caso de la precipitación sobre el territorio colombiano, las tendencias son igualmente variadas. En general se ha identificado una tendencia a la disminución en la región Caribe, en la Pacífica y en el sur de la región Andina. En los piedemontes amazónico y orinoquense, así como en el altiplano cundiboyacense se ha venido presentando un incremento de la precipitación.

**TABLA 1. Tendencia de la temperatura del aire registrada a dos metros sobre la superficie (a) en °C/decenio y tendencias de la precipitación (b) en %/decenio en diferentes regiones de Colombia (el porcentaje (%) es con referencia al volumen anual del período 1961-1990).**

SUBREGION	TENDENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE (°C por decenio)	TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN (%por de decenio)
Cuenca del Cesar	0.17	1.46
Litoral Caribe central	0.07	1.23
Bajo Magdalena	0.08	4.01
San Jorge, Bajo Nechí	0.14	4.09
Alto Cauca	0.12	-2.40
Medio Cauca y Alto Nechí	0.17	-0.92
Alto Magdalena	0.01	-1.22
Medio Magdalena	0.25	1.52
Sabana de Bogotá	0.23	3.06
Cuenca del río Sogamoso	0.11	3.11

**TABLA 2. RECESIÓN DE LOS GLACIARES EN COLOMBIA (TOMADO DE FLÓREZ, 1992; IDEAM, 1998)**

TIEMPO	AREA GLACIAR (km <sup>2</sup> )
Pleniglacial - última glaciación	17.108
Fin pequeña edad de glaciación	374
<b>Año 1979</b>	94
Año 1996	64

### Tendencias en el ascenso del nivel del mar

El análisis del comportamiento del nivel del mar realizado para estaciones mareográficas localizadas en la costa pacífica colombiana, reportan un incremento entre 3 y 5 milímetros al año durante los últimos cincuenta años (ver Figura 1).

### Tendencias en el retroceso de los glaciares

La manifestación más clara del calentamiento global y del cambio climático en el territorio colombiano es la reducción del área de los glaciares de montaña. En algunos casos, estos han desaparecido. En la Figura 2 se presenta dos imágenes de uno de los glaciares colombianos tomados en diferente época; la Tabla 2 muestra también la tendencias del retroceso.

Entre 1940 y 1985 desaparecieron en Colombia ocho glaciares y actualmente sólo existen cuatro nevados sobre estructuras volcánicas (Huila, Ruiz, Santa Isabel, Tolima) y dos sierras nevadas (Cocuy y Santa Marta). Se calcula que, en la actualidad, la recesión en lenguas glaciares es del orden de 15 a 20 metros/año y que la pérdida de espesor varía entre 1-2 metros/año (Flórez, 1992). Hay evidencias de que el ritmo del retroceso fue mayor en los últimos decenios del siglo XX (Flórez, 1992a).

## EL POSIBLE CLIMA DEL FUTURO EN COLOMBIA

Las estimaciones realizadas de los cambios de temperatura media del aire y de la precipitación anual permitieron establecer los valores que se presentan en la Tabla 3. Es conveniente llamar la atención acerca del significado de estos valores; estos no son pronósticos o predicciones para finales del siglo XXI, sino uno de los potenciales escenarios en una atmósfera con dióxido de carbono duplicado.

### Cambios en la temperatura del aire y en la precipitación

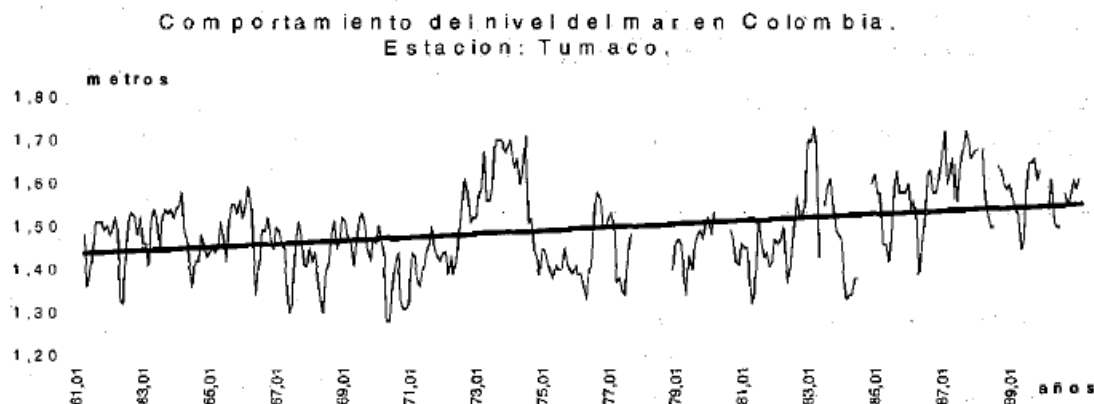
Según las estimaciones presentadas en la Tabla 1, el territorio colombiano presentaría los siguientes cambios en el clima:

- Incremento diferenciado en el territorio colombiano de la temperatura del aire entre 1.0 y 2.0° C.
- Alteraciones del volumen anual de precipitación que oscilan entre -15% y + 15% para diferente en las regiones del país.

### La potencial magnitud del ascenso del nivel del mar para las costas colombianas

En el caso del nivel del mar, las estimaciones realizadas utilizando la extrapolación de las tendencias en las mediciones nacionales (costa pacífica y caribe) y regionales, así como las registradas por el programa TOPEX/POSEIDON durante los últimos 10 años, arrojaron resultados que indican que hacia el año 2060 el nivel del mar se incrementaría en cerca de 40 centímetros en la costa Caribe y 60-65 en la costa Pacífica colombianas.

**FIGURA 1. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL MAR EN BUENAVENTURA Y TUMACO. LA LÍNEA RECTA MUESTRA LA TENDENCIA DE LARGO PLAZO.**



**FIGURA 2. ÁREA GLACIAR DEL VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL 1959 (IZQUIERDA) - 1996 (DERECHA).**

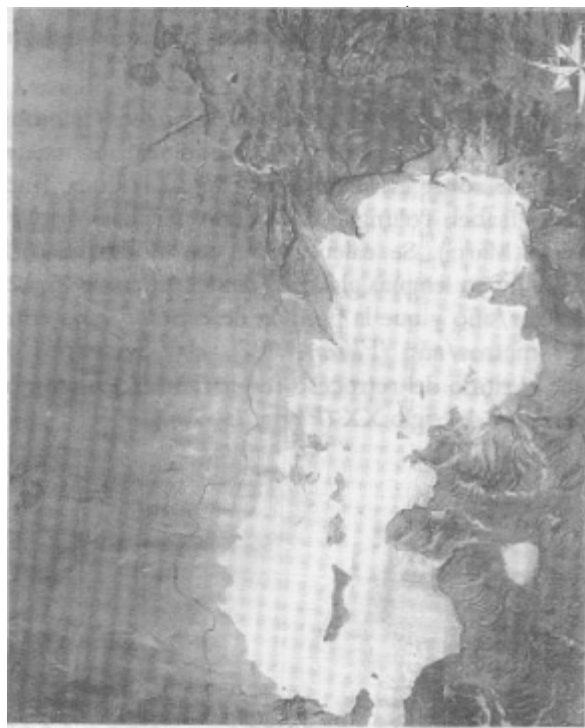
Imágenes tomadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 1998).

a)



Fotografía IGAC

b)



Fotografía IDEAM

**TABLA 3. POSIBLES CAMBIOS EN LA TEMPERATURA (°C) Y EN LA PRECIPITACIÓN (%) EN RELACIÓN CON EL PERÍODO 1961-1990 BAJO UN ESCENARIO DE DUPLICACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO (PABÓN ET AL., 2002).**

SUBREGION	CAMBIOS DE TEMPERATURA (°C)	CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN (%)
Alta Guajira	+1.2	-10*
Sierra Nevada de Santa Marta y Cuenca del	+1.0	+9*
Litoral Central	+0.4	+7
Bajo Magdalena	+0.5	+24*
Sinu-San Jorge Bajo Nechi Uraba	+0.8	+24*
Pacifico Norte y Central	+0.8	+18
Pacifico Sur	+1.4	-12
MontañaNariñense	+1.5	-23
Alto Cauca	+0.7	-14
Medio Cauca y Alto Nchi	+1.0	-6
Alto Magdalena	+0.1	-7
Medio Magdalena	+1.5	+9
Sabana de Bogotá	+1.4	+18
Río Sogamoso	+0.7	+19
Catatumbo	+1.2	+19
Río Arauca y Cuenca Media del Meta	+0.0	+11*
Piedemonte Llanero	+1.4	+6*
Orinoquia Oriental	+1.3	+14*
Orinoquia Central	+1.3	+35*
Suroriente Amazónico	+0.1	+22*
Amazonia Central	+0.1	+6*
Piedemonte Amazónico	+0.1	+4*
Alto Patia	+1.5	-23
San Andrés y Providencia	+0.7	+17

\* % de la normal periodo diferente

## **Implicaciones del cambio climático para Colombia**

Según las anteriores estimaciones, el territorio colombiano podría verse afectado por un calentamiento entre 1 - 1.5°C y por alteraciones de la precipitación que podrían estar entre -15 y +15% del acumulado anual promedio 1961-1990. De la misma manera se presentarán cambios en la distribución de la precipitación en el territorio nacional, aunque las alteraciones serían diferentes en las regiones del país: en algunas podría presentarse mayor precipitación que en la época actual, en otras podría ser menor.

El aumento de la temperatura traería un desplazamiento hacia mayores alturas de los cinturones bioclimáticos. Cultivos muy sensibles a la temperatura ambiental tendrían que desplazarse, o al menos sus rendimientos sufrirían variaciones apreciables. En ambos casos existirían tanto beneficiados como afectados. En el cinturón cafetero, por ejemplo, los cultivadores que producen hoy en día por debajo de los 1200 m se verían perjudicados, mientras que quienes cultivan a más de 1800 m podrían obtener mejores rendimientos.

Otra manifestación del cambio climático que podría afectar a Colombia es el incremento del nivel del mar. Este podría traer consecuencias de gran magnitud en las zonas costeras e insulares, como también en las zonas de los deltas de los grandes ríos del país. Este incremento traería problemas a las zonas costeras y a los territorios insulares del planeta. El agua de mar podría inundar alguna parte del área actual de las ciudades costeras, que también se verían afectadas por problemas de reflujos de aguas negras. Los fenómenos como el alto oleaje y las mareas altas llegarían a niveles más altos que los actuales. El fenómeno del Niño ocurriría con mayor frecuencia, con todas las consecuencias que ello acarrea. Igualmente con la elevación del nivel del mar se podría presentar intrusión de aguas saladas a los sistemas de agua dulce de zonas costeras con las

consiguientes consecuencias a la vida animal y vegetal de esos cuerpos de agua.

Es conveniente llamar la atención acerca de la posible magnitud del efecto del cambio climático en Colombia y de los potenciales impactos con el fin de que se lleven a cabo investigaciones más detalladas sobre los escenarios más probables y sus impactos, a fin de sustentar mejor la planificación de largo plazo que sirva de medida de adaptación a dichos cambios.

## **RECONOCIMIENTOS**

El presente reporte resume los resultados obtenidos en trabajos que sobre el tema del cambio climático el autor ha venido realizando en diferentes proyectos como parte de un programa del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia iniciado con el proyecto "Aspectos Regionales del Cambio Climático" que en sus comienzos fue apoyado por la ahora denominada División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia. El trabajo tuvo continuación en el marco del proyecto 101-13-798-98 "Proyecciones climáticas regionales e impactos del cambio climático en Colombia" financiado por COLCIENCIAS el cual se desarrolló por el Programa de Postgrado de Meteorología del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia. Posteriormente, fue posible avanzar con el apoyo del proyecto "Enabling Colombia to prepare its First National Communication to the Frame United Nations Convention on Climate Change" desarrollado en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, con financiación del Global Environmental Facility (GEF); parte de los aspectos de tendencias y proyecciones se analizaron en el Programa de Investigación Básica, línea de investigaciones climáticas, Subdirección de Meteorología del IDEAM.



## BIBLIOGRAFÍA

- BERNAL, N.R., Martínez J., Pabón, J.D., (2000): El método de reducción de escala estadístico aplicado a estudios de cambio climático. *Meteorología colombiana*, N° 4, pp. 61-64.
- ESLAVA, J.A., Pabón J.D., (2001): Proyecto "Proyecciones climáticas Regionales e Impactos Socioeconómicos del Cambio Climático en Colombia". *Meteorología Colombiana*, No 3. Marzo 2001, pp.1-8.
- FLOREZ, A., (1992a): Los glaciares residuales de Colombia. Enfoque histórico y geosituación actual. *Zenit*, N° 3, pp 35-45
- FLOREZ, A., (1992b): Los nevados de Colombia. Glaciares y glaciaciones. Análisis Geográficos IGAC, Bogotá, N° 22, 95 p.
- IDEAM, (2001): Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C., 307 p.
- IPCC, (2001a): *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, C. A. Jonson (Eds)/. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 p
- IPCC, (2001b): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* / McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. (Eds)/. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC-TGCIA, (1999): *Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1.* Prepared by Carter, T.M., M. Hulme, and M. Lal, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pp.
- KALNAY, E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. of American Meteo. Soc.*, v.77, No.3, pp. 437-471.
- PABÓN, J.D., Eslava J.A., Pelkowski J., Montoya G.J., Vega E.E., (2001a): Resultados de la simulación del clima por CCM3. *Meteorología colombiana*, N° 4, pp. 61-64.
- PABÓN, J.D., Martínez J., Bernal N.R., (2001b): Aspectos metodológicos del método de reducción de escala. *Meteorología colombiana*, N° 4, pp. 65-72.
- PABÓN, J.D., Cárdenas I., Kholostiaikov R., (2002): Escenarios climáticos para el siglo XXI. Informe técnico para la elaboración de la Primera Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- WILKS, D.S., (1995): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.* Academic Press. London - San Diego. 467 p.