

Disertación del Lic. Met. Juan C. Labraga

Efectos del calentamiento global en el clima de la Argentina

**Sr. Director del Centro Nacional Patagónico Dr. Adán E. Pucci,
Sr. Presidente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria,
Dr. Norberto Ras,
Colegas y amigos,
Señoras y Señores:**

Sean primero mis palabras de agradecimiento por la concesión de este Premio por parte de la prestigiosa Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria hecho que me honra profundamente en lo personal como así también a esta Institución y a quienes son mis colaboradores. Agradezco conmovido la presentación del Académico Burgos y espero seguir mereciendo vuestra confianza.

1. El sistema climático y los modelos climáticos

Las actuales investigaciones sobre nuestro medio ambiente tienden a considerarlo, cada vez con más énfasis, como un sistema integrado. La atmósfera, los océanos, los continentes y las grandes masas de hielo y nieve de nuestro planeta, son en realidad componentes de un sistema mayor, en permanente interacción a través de flujos de materia (agua líquida o vapor, otros gases y partículas) y de energía (radiación electromagnética, calor latente y sensible, momento). La atmósfera y el conjunto de sus interacciones con las otras componentes del medio ambiente constituyen lo que, en un sentido amplio, se denomina el *sistema climático*. El *clima* es el estado característico de ese sistema, determinado a través de las mediciones de variables como temperatura, presión, velocidad del viento, radiación, etc., y expresado como promedios y otros momentos estadísticos superiores sobre un período suficientemente prolongado (comúnmente aceptado, no

menor a 30 años). Este sistema ha sufrido importantes cambios en el pasado, como los asociados con los avances y retrocesos de los glaciares. Es de suponer además, que los seguirá experimentando en el futuro, por ser un sistema dinámico en un estado de permanente evolución.

No existe en la actualidad una teoría comprensiva del clima, es decir, un conjunto completo de leyes que explique la totalidad de sus procesos. Pero con el aporte fundamental de las ciencias físicas y matemáticas y las crecientes contribuciones de otras disciplinas, se ha podido integrar el conocimiento actual del sistema climático mediante el desarrollo de modelos *climáticos*.

Un modelo climático es una representación simplificada y aproximada de los procesos e interacciones más importantes que ocurren en el sistema climático, mediante un conjunto de ecuaciones que expresan sus leyes físicas básicas conocidas.

Cada componente del sistema puede ser incorporada al modelo como

un subconjunto de ecuaciones específicas, entre las que se incluyen las ecuaciones de movimiento, las ecuaciones de conservación de la energía, y las ecuaciones de conservación de la masa, aplicadas a la atmósfera, los océanos y los hielos.

La resolución de los sistemas de ecuaciones mencionados requiere el uso de computadoras. Sólo en modelos climáticos muy simples se pueden encontrar soluciones analíticas generales, que si bien mejoran la comprensión del sistema poseen una aplicación limitada. En modelos más complejos se pueden obtener soluciones aproximadas aplicando distintos métodos de cálculo numérico. Definido un estado inicial del sistema y las interacciones con su entorno (ej.: flujo de radiación solar que ingresa al sistema), se puede obtener una solución numérica del conjunto de ecuaciones del modelo, que exprese el estado posterior del sistema climático al cabo de un intervalo finito. Tomando a este estado como el nuevo "estado inicial", se repite el procedimiento de cálculo (integración numérica de las ecuaciones del modelo), obteniéndose así la evolución en el tiempo de las variables del sistema. Este procedimiento es utilizado rutinariamente en los servicios meteorológicos para la obtención de pronósticos del tiempo hasta 5 o 7 días.

La integración de las ecuaciones de un modelo climático por períodos largos (ej.: 30 a 100 años) permite derivar las propiedades estadísticas o climáticas del sistema que el modelo representa. Esto último es lo que se denomina un experimento climático. Los requerimientos de capacidad de cómputo para la ejecución de estos experimentos crecen en la medida que aumenta la complejidad de los modelos (procesos físicos, químicos y biológi-

cos considerados) y el grado de detalle espacial y temporal de la información que se pretende obtener de ellos.

Los modelos climáticos permiten simular el comportamiento del clima contemporáneo con creciente exactitud. Además permiten estimar las posibles respuestas del sistema a diferentes cambios en sus componentes o interacciones (ej.: cambios en la composición de los gases de la atmósfera, cambios en la intensidad de la radiación solar, etc.)

Si bien un modelo climático es una representación aproximada de la realidad permite:

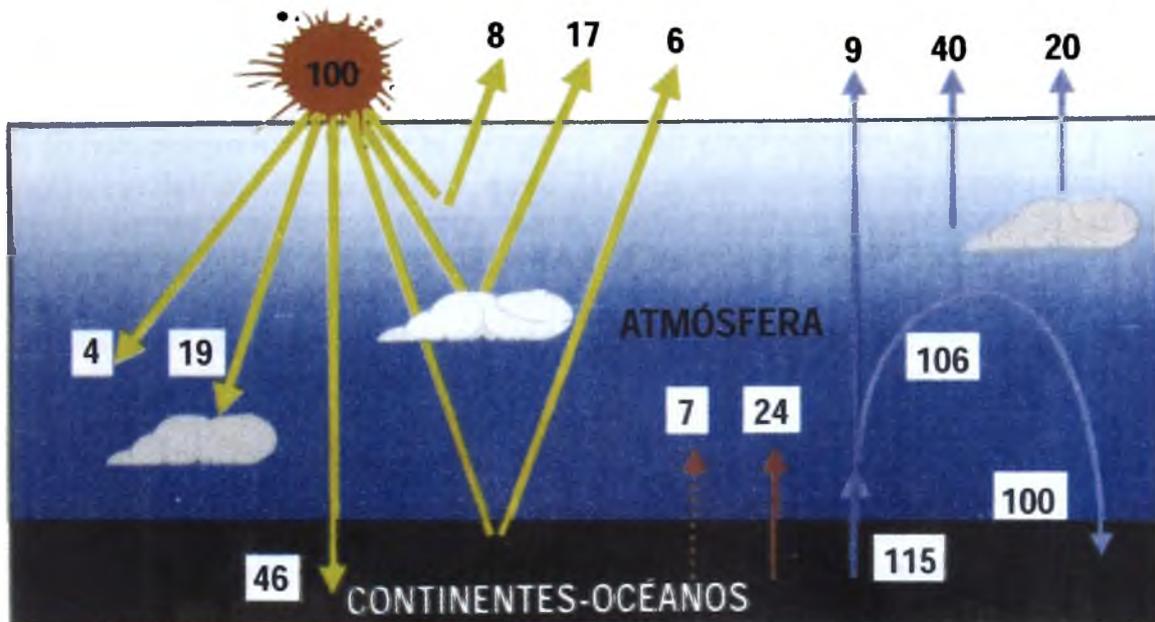
- explicar algunas de las causas de la variabilidad observada del clima, en diferentes escalas de tiempo y espacio (ej.: el fenómeno de El Niño/La Oscilación del Sur).
- entender los cambios climáticos que han ocurrido en el pasado (ej.: períodos glaciares e interglaciares).
- anticipar las características de los posibles cambios futuros debidos tanto a factores naturales como a la actividad humana (ej.: Calentamiento global)

Grupos de científicos en diferentes países del mundo, como Australia, Alemania, Canadá, Estados Unidos, Inglaterra, y Francia, entre otros, desarrollan y perfeccionan continuamente modelos climáticos para investigar aspectos globales y regionales del clima. Uno de los temas de investigación que ha recibido mayor atención en esta década es el denominado "calentamiento global" por intensificación del efecto invernadero.

2. El efecto invernadero y el calentamiento global

Para entender el proceso de calentamiento global es necesario describir brevemente como funciona el balance de energía de nuestro sistema climático.

Figura 1: Esquema simplificado del balance de energía del sistema climático, adaptado de Peixoto y Oort (1991).



ESQUEMA DEL BALANCE DE ENERGIA DEL SISTEMA CLIMATICO

- RADIACION TERRESTRE
- RADIACION SOLAR
- CALOR SENSIBLE
- CALOR LATENTE

Supongamos, por simplicidad, que el flujo total de energía proveniente del Sol que ingresa al sistema climático es igual a 100 unidades. La atmósfera absorbe 23 unidades: el O₃ estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben 19 unidades y el agua líquida en las nubes 4 unidades. La superficie de los océanos y los continentes absorben 46 unidades. Las 31 unidades restantes son reflejadas hacia el espacio exterior: las nubes reflejan 17 unidades, la superficie del planeta 6 unidades, y 8 unidades son dispersadas hacia el espacio exterior por la atmósfera; estas 31 unidades no participando entonces en los procesos e intercambios del sistema. La energía absorbida por el sistema climático (69 unidades) es convertida en

calor, movimiento de la atmósfera y de los océanos, o en capacidad potencial para realizar trabajo.

Para que la atmósfera y los océanos mantengan un estado de equilibrio térmico, es necesario que en promedio sobre un período prolongado devuelvan al espacio exterior la misma cantidad de energía recibida del Sol. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda según su temperatura. Este es un mecanismo fundamental para mantener el equilibrio térmico del sistema. Se estima que, de no existir la atmósfera, la temperatura media que alcanzaría la superficie de la Tierra para lograr un balance entre la radiación solar entrante y la radiación terrestre saliente sería de -18°C. En esas condi-

ciones, la vida sobre el planeta no existiría o tendría características muy diferentes a las conocidas.

Ciertos gases que comprenden la atmósfera como el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3), óxido nitroso (NO_2) y los compuestos halogenados (CFC), absorben parte importante de la radiación emitida por la superficie de la Tierra y la irradian nuevamente en todas direcciones. El flujo de radiación hacia el exterior que ocasionan estos gases contribuye a balancear la radiación solar entrante, mientras que el flujo de radiación hacia la Tierra incrementa la temperatura de su superficie. Por lo tanto, en el actual estado de equilibrio, la temperatura media de la superficie es de $+15^\circ \text{C}$. La diferencia entre la temperatura de la superficie con y sin atmósfera, 33°C , es el resultado neto del efecto invernadero producido por los mencionados gases, de fundamental importancia para todas las manifestaciones de la vida. Sin embargo, no existen dudas que las emisiones de gases con efecto invernadero producidas por las actividades humanas incrementan apreciablemente sus concentraciones atmosféricas. Estos aumentos acrecientan; a su vez, la intensidad del efecto invernadero, resultando en un aumento de la temperatura media global de la superficie de la tierra, conocido como *calentamiento global*.

Uno de los gases que más contribuyen al efecto invernadero, después del vapor de agua, es el dióxido de carbono. El CO_2 fluye entre tres reservorios principales del sistema: la atmósfera, con un contenido de 720 GtC (1GtC+ 1 gigatonelada de carbono, o mil millones de toneladas de carbono), la biósfera, con 1500 GtC, y los océanos con 38000 GtC. Se estima que, previo al inicio de la era in-

dustrial la concentración atmosférica de CO_2 era de 256 a 290 ppm. Desde entonces su concentración se ha incrementado en un 30%. Las principales fuentes de este incremento son la combustión de petróleo, gas y carbón que aportan $6,0 \pm 0,5$ GtC/año. Otra fuente de CO_2 se origina en los cambios en el régimen de explotación de la tierra, especialmente la deforestación, que aporta aproximadamente 1.6 GtC/año. De estos aportes, sólo un 46% permanece en la atmósfera. El principal sumidero de este gas se encuentra en los océanos y aunque su magnitud aún no está bien cuantificada se estima que absorben $2,0 \pm 0,8$ GtC/año. Otro sumidero importante lo constituye la regeneración de bosques, pero no ha podido ser debidamente cuantificado. Existe una disparidad de 2 GtC/año entre fuentes y sumideros cuantificados. Este "sumidero desconocido" introduce una incertidumbre en las estimaciones de la futura concentración atmosférica de CO_2 y consecuentemente, en la evaluación de su efecto sobre el calentamiento global.

3. Escenarios de emisión de CO_2 y de calentamiento global del IPCC

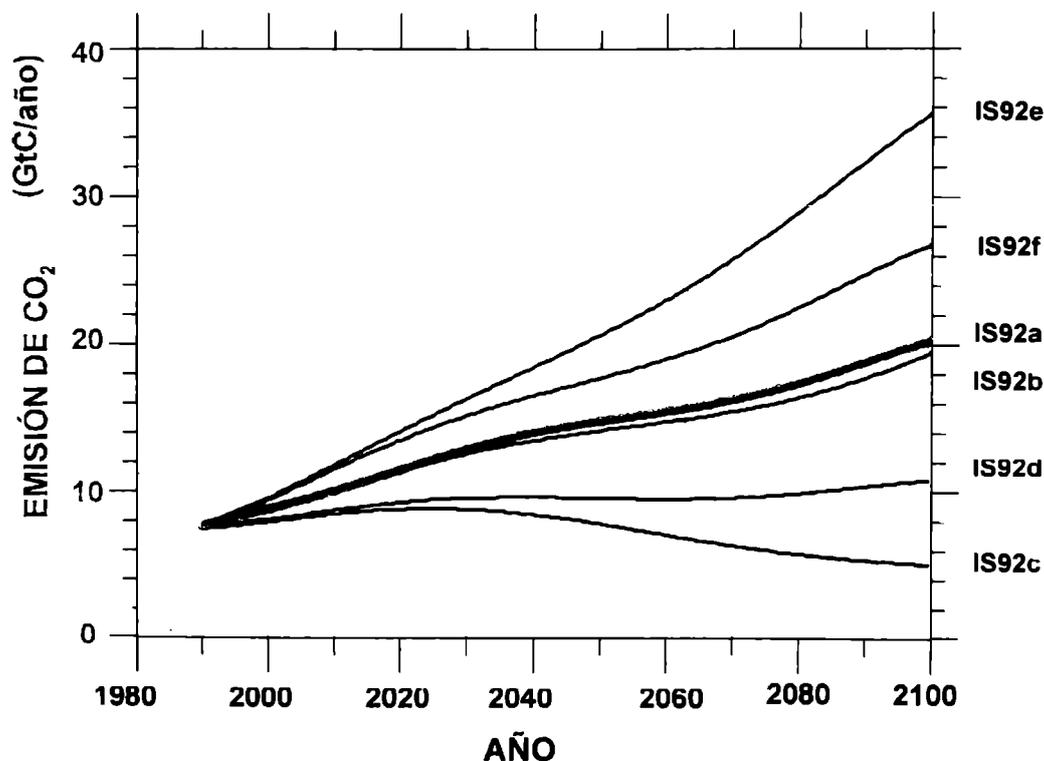
Las emisiones de CO_2 y de otros gases invernadero están relacionadas con diversos factores tales como la velocidad de aumento de la población, el crecimiento económico, el costo y la disponibilidad de fuentes de energía, la pautas de producción y consumo y los cambios en el uso la tierra, entre los más importantes.

Muchos de estos factores han sido analizados detalladamente por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC), un organismo internacional creado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el

Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988, para evaluar la información científica disponible sobre el cambio climático, estimar sus

impactos ambientales y socio - económicos y trazar estrategias para dar respuestas apropiadas al fenómeno.

Figura 2: Escenarios de evolución de las emisiones antropogénicas de CO₂ de acuerdo a las estimaciones del IPCC (1996). Emisión promedio anual de CO₂ calculada a partir de 1990 en miles de millones de toneladas de carbono por año (Gt C/ año).



El IPCC (IPCC,1992,1996) ha elaborado seis escenarios alternativos para las futuras tasas de emisión de gases invernadero, que ha designado en sus documentos con las siglas IS92a, IS92b, ...,IS92f respectivamente. Estos escenarios se basan en diferentes hipótesis sobre la futura evolución de los factores mencionados previamente.

Las proyecciones hasta el año 2100 de las emisiones antropogénicas de CO₂ para cada uno de esos seis escenarios son mostradas en la Figura 2. Tomando en cuenta un escenario de emisión intermedio como el

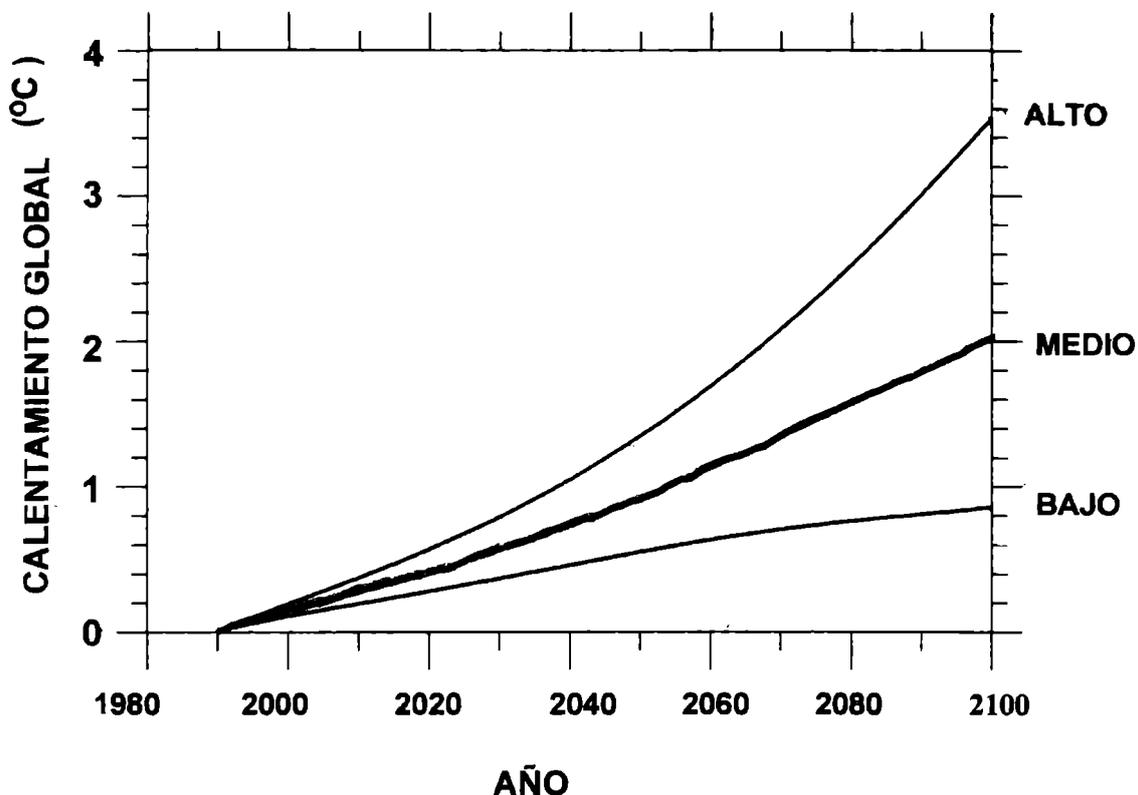
IS92a, se estima que la actual concentración atmosférica de CO₂ se duplicaría hacia el año 2060/70 y se cuadruplicaría hacia fines del próximo siglo. Estas proyecciones constituyen uno de los puntos de referencia para nuestra elaboración de escenarios de cambio climático para la Argentina.

Un escenario de cambio climático es una descripción espacial y temporal, físicamente consistente, de las condiciones climáticas futuras, expresada mediante rangos plausibles de las variables climáticas fundamen-

tales y basada en un conjunto de suposiciones sobre la futura evolución de los factores de cambio y en la actual

comprensión científica de nuestro sistema climático (Pittock, 1993, Timothy et al., 1995).

Figura 3: Escenarios "alto", "medio" y "bajo" de calentamiento global del IPCC (IPCC, 1996) en grados Celsius de aumento de la temperatura media mundial a partir de 1990.



El IPCC también ha estimado tasas de calentamiento medio global para el período 1990-2100. Las más recientes estimaciones (IPCC, 1996), toman en cuenta los mencionados escenarios de emisión de gases invernadero, así como una estimación del rango de *sensibilidad del sistema climático* a los cambios en las concentraciones de estos gases atmosféricos. Como referencia, los modelos climáticos globales indican que si la concentración atmosférica de CO₂ se duplicara instantáneamente y se le permitiera al sistema climático alcanzar un nuevo estado de equilibrio, la tem-

peratura media global del aire en superficie se incrementaría entre 1.5° y 4.5° C. Este rango de temperaturas representa una estimación posible de la sensibilidad del sistema climático.

Los nuevos escenarios de calentamiento global del IPCC, mostrados en las curvas de la Figura 3, consideran tres casos básicos:

- "caso alto", resultante de la combinación del escenario de emisión de mayor intensidad IS92e y la máxima sensibilidad climática estimada.
- "caso medio", combinación del escenario de emisión intermedio IS92a y una sensibilidad climática media.

c) "caso bajo", combinación del escenario de emisión de menor intensidad IS92c y la mínima sensibilidad climática estimada.

Los valores graficados en la Figura 3 corresponden a un promedio global y no describen de qué modo el calentamiento global se manifestará en el clima de cada región del planeta en distintas épocas del año y en el transcurso de los años.

4. Metodología para el desarrollo de escenarios de cambio climático

El Área de Física Ambiental del Centro Nacional Patagónico y el Centro de Investigaciones Biometeorológicas del CONICET, con la valiosa colaboración de la CSIRO Division of Atmospheric Research, Australia, han realizado investigaciones conjuntas sobre los posibles efectos del calentamiento global en el clima de la Argentina y de Sudamérica. Para ello se analizaron los resultados de numerosos experimentos climáticos globales, realizados por grupos de modelado climático de Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos e Inglaterra. Esta investigación constituye un primer paso hacia el desarrollo y la aplicación de este tipo de modelos en nuestro país.

La metodología aplicada comprende varias etapas (Labraga, 1997, Labraga y López, 1997). La primera etapa consiste en validar las simulaciones del clima contemporáneo de nuestra región (experimentos climáticos de control), comparando las salidas de los modelos con conjuntos de datos climáticos observados mediante métodos estadísticos. En esta evaluación, cada modelo puede mostrar un grado diferente de exactitud. Por lo tanto, se les asigna un puntaje proporcional a su capacidad de reproducir las

características salientes de nuestro clima actual. Este puntaje se basa en el uso combinado de medidas estadísticas de semejanza entre patrones espaciales.

El segundo paso consiste en calcular las variaciones climáticas en la región de estudio. Para esto se comparan las simulaciones del clima actual con las simulaciones del clima futuro al momento de duplicarse la concentración de CO₂, aproximadamente en el año 2060/70. En los experimentos de intensificación del efecto invernadero se simula un incremento gradual de la concentración de CO₂, a una tasa del 1% anual compuesto conforme al escenario intermedio de emisión del IPCC.

Las variables climáticas analizadas fueron: la presión atmosférica en la superficie (por su relación con la circulación atmosférica), la temperatura del aire en superficie y la precipitación (por su importancia en diversos procesos biológicos y productivos).

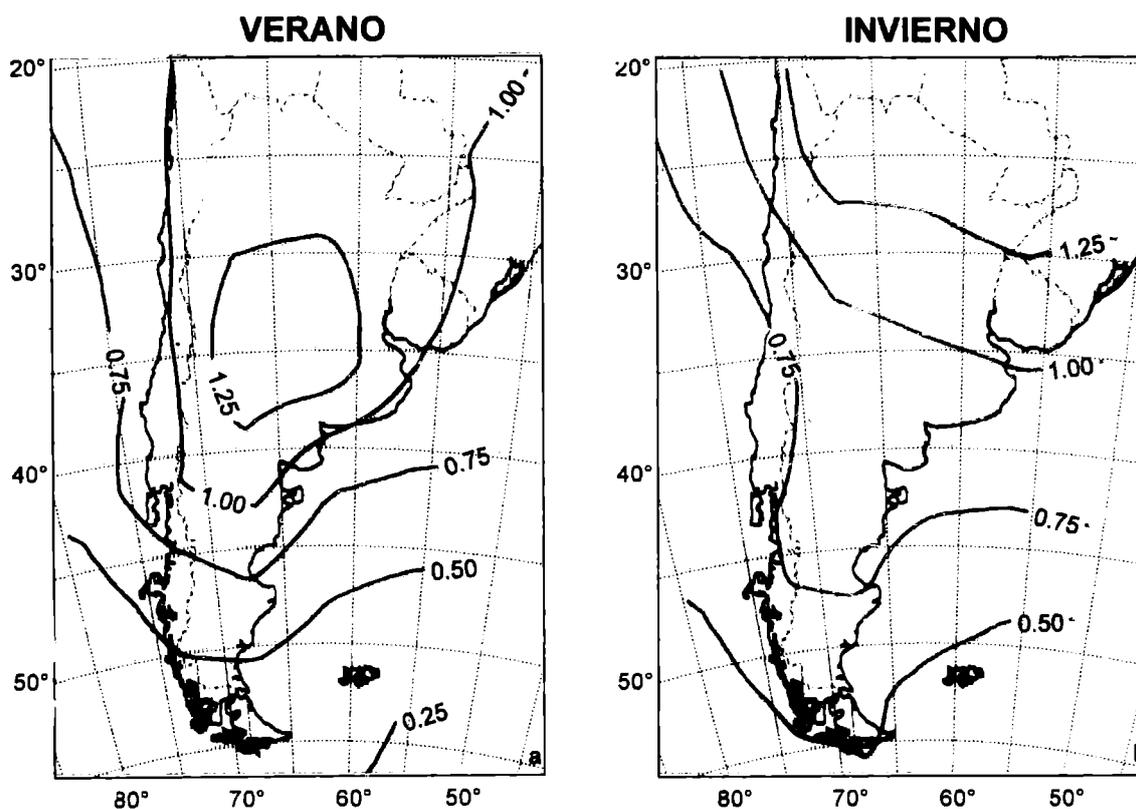
La sensibilidad con que cada modelo responde a un incremento de la concentración de CO₂ es ligeramente diferente. Así, el calentamiento medio global simulado por los modelos utilizados cuando el sistema climático alcanza un nuevo estado de equilibrio con el doble de la concentración actual de CO₂, varía entre 1.5° y 4.5° C. Para comparar regionalmente los resultados de modelos que poseen diferente sensibilidad, las variaciones climáticas son normalizadas, dividiéndolas por el calentamiento medio global simulado por cada modelo al momento de duplicarse la concentración atmosférica de CO₂. Así se obtuvieron mapas de las variaciones de la temperatura regional por cada grado de aumento de la temperatura media del planeta y mapas de la variación de la lluvia regional por cada grado de aumento de la temperatura media del planeta.

El siguiente paso consiste en obtener una única descripción consensuada de las variaciones climáticas a partir de las variaciones en el conjunto de los experimentos climáticos considerados. Para esto se hace un promedio ponderado de estos resultados,

utilizando como factor de ponderación el puntaje asignado previamente a cada modelo por su exactitud en la simulación del clima actual. De este modo se asigna más peso a las proyecciones de aquellos modelos que simulan mejor el clima contemporáneo.

5. Resultados

Figura 4: Incremento promedio de la temperatura regional (en grados Celsius) por grado de aumento de la temperatura media global en verano e invierno, cuando se duplica la concentración actual de CO₂.



En la Figura 4 puede apreciarse cual sería la distribución del aumento de la temperatura media de verano e invierno en la Argentina con respecto al aumento global de la temperatura (por cada grado de aumento de la temperatura media del planeta) en el momento en que la concentración de CO₂ duplique su valor actual.

En verano, la zona más afectada se ubicaría en el centro del país,

ya que su calentamiento sería un 25% superior al calentamiento medio del planeta. En la región austral del país se producirían incrementos de la temperatura media iguales o menores a la media global. En invierno, el norte del país experimentaría un calentamiento superior a la media global y el resto del país valores iguales o inferiores. El calentamiento extremo de la zona semi-árida en verano se combina con una

disminución de la precipitación como se verá adelante. El aumento del calentamiento radiativo de la superficie ocasionado por la intensificación del efecto invernadero se traduce en una mayor proporción del flujo de calor sensible respecto del flujo de calor latente (evaporación) hacia la atmósfera, debido a la escasa disponibilidad de agua en el suelo.

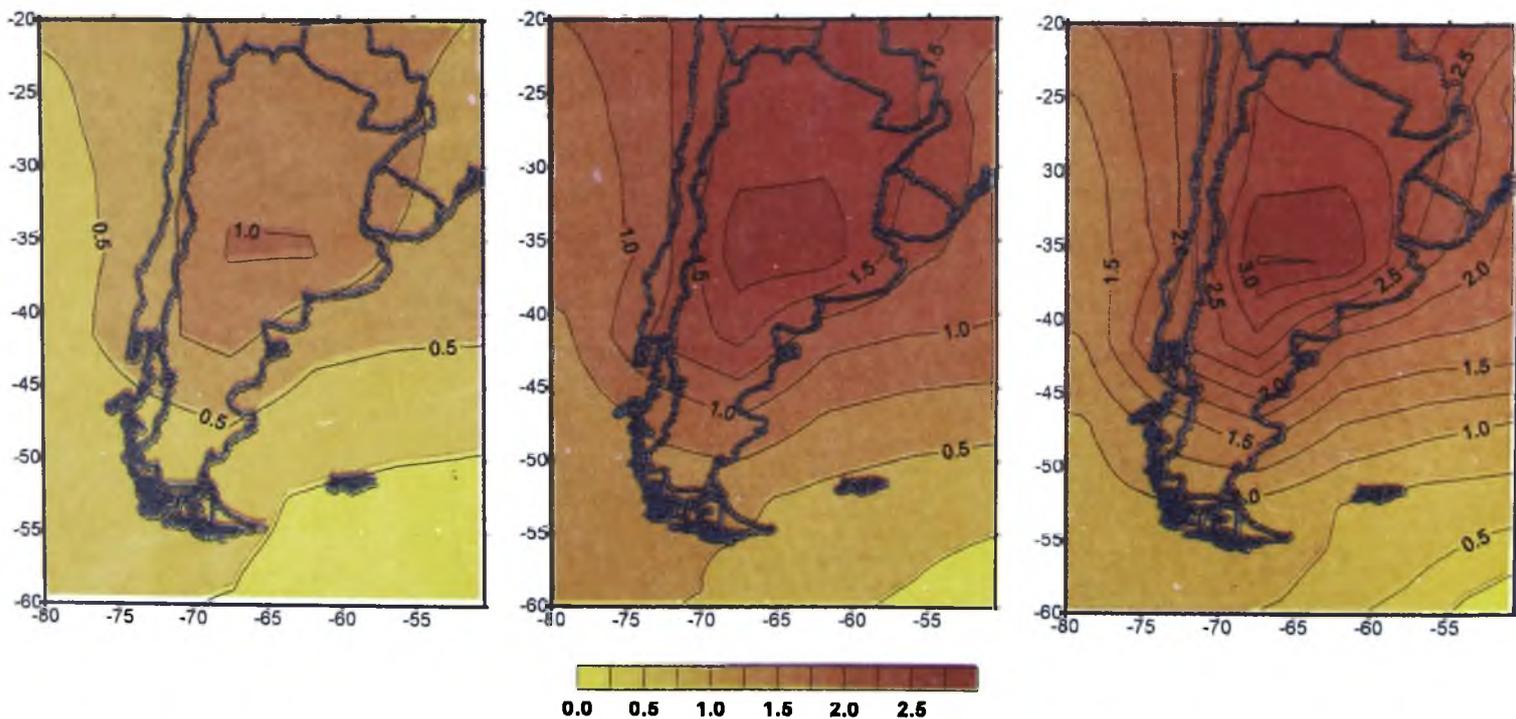
En invierno, el aumento de la temperatura media en el norte del país es comparable al valor proyectado en verano para el centro de nuestro territorio, es decir, un incremento de la temperatura un 25% superior al calentamiento medio global. El calentamiento esperado disminuye hacia el sur del país, llegando a ser un 25% inferior a la media global en la Patagonia. En los experimentos climáticos con modelos atmosféricos acoplados a modelos oceánicos que incluyen sus procesos dinámicos más importantes, se ha encontrado un efecto de retardo en el calentamiento

atmosférico. Esto resulta en un mayor contraste entre el calentamiento continental y el oceánico. Esta influencia oceánica se aprecia claramente en el extremo sur de nuestro continente, tanto en invierno como en verano.

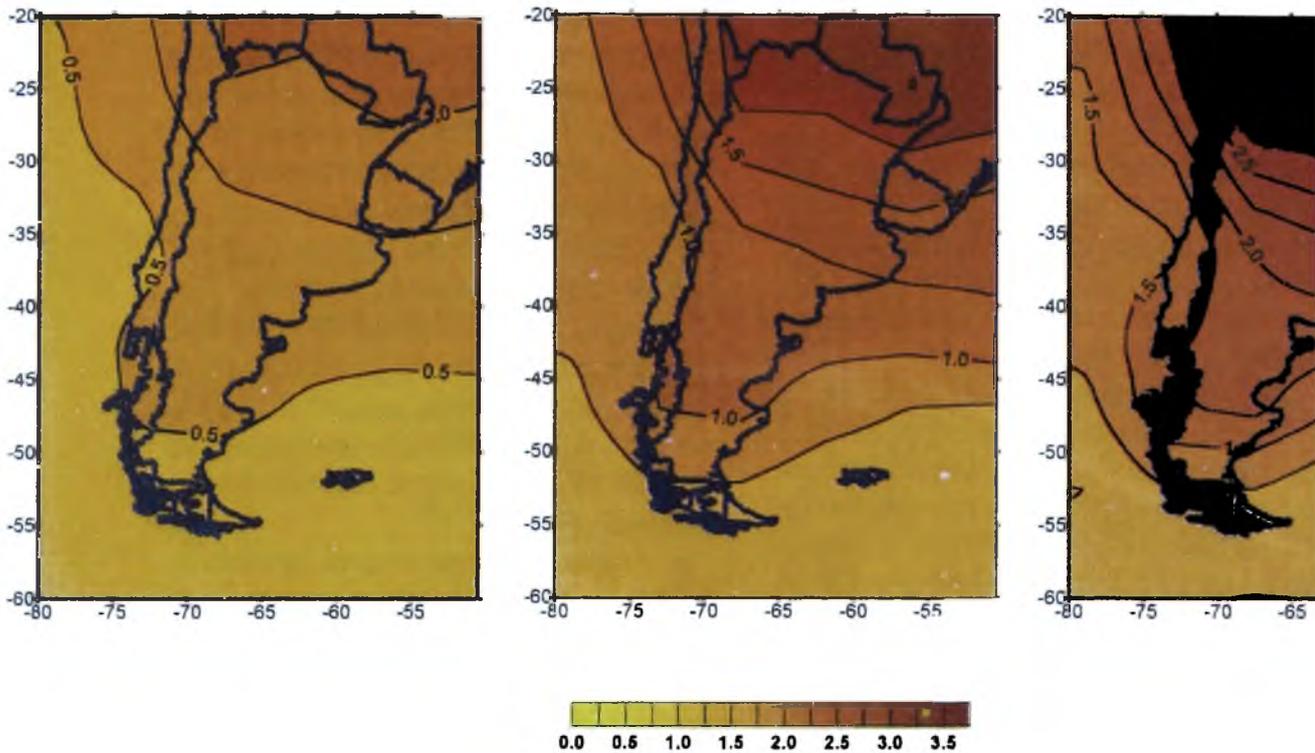
No se analizan aquí las variaciones de las temperaturas extremas. Sin embargo, se las considera aspectos muy importantes del campo térmico del aire en superficie, que están siendo actualmente investigados debido a su notable influencia sobre distintos procesos biológicos.

Otro dato de interés referido al calentamiento regional es su probable evolución en el tiempo, de acuerdo con las futuras tasas de emisión de CO₂ y la sensibilidad del sistema climático. La Figura 5 permite comparar el aspecto que tendría el calentamiento medio regional correspondiente a los escenarios de calentamiento medio global bajo, medio y alto del IPCC, para el año 2070.

Figura 5: Calentamiento regional (en grados Celsius) para los escenarios de calentamiento global bajo (izquierda), medio (centro) y alto (derecha) del IPCC (1996), en verano (panel superior) e invierno (panel inferior).



Continuación Figura 5:



La notable aceleración del calentamiento en el escenario alto es tal que, hacia fines del próximo siglo la zona central del país en verano podría experimentar un aumento máximo en la temperatura media algo superior a 3°C, mientras que en el escenario bajo este aumento podría llegar a ser algo mayor 1°C.

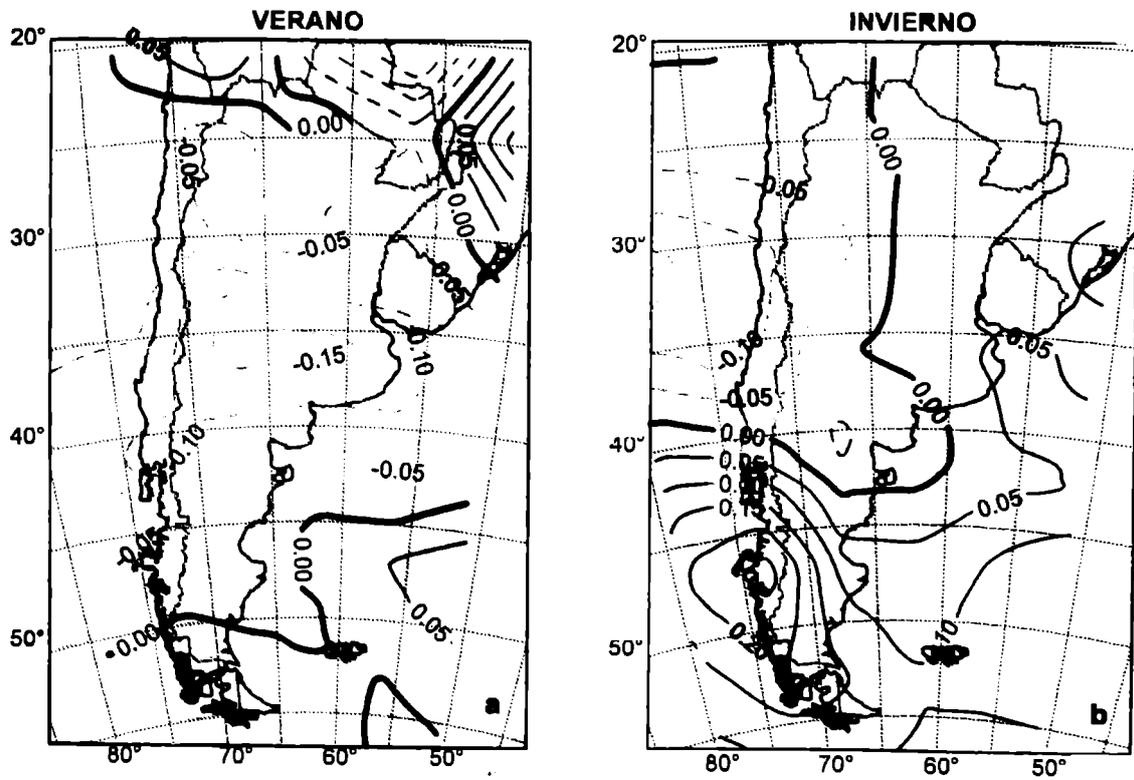
El aumento de la temperatura media en invierno podría alcanzar un

valor máximo comprendido entre 3.5° y 1°C en el norte de la Argentina, según se considere el escenario alto o bajo de calentamiento global del IPCC. Este aumento de la temperatura en el norte de la Argentina es la manifestación del borde sur de una extensa zona de máximo incremento de la temperatura en invierno ubicada en el centro de Brasil, superior en magnitud al calentamiento de verano.

En la Figura 6 se aprecian las zonas que experimentarían disminución (rojo) o aumento (verde) de la ta-

sa de lluvia, expresados en milímetros por día por cada grado de aumento de la temperatura media global.

Figura 6: Disminución (en rojo) o aumento (en verde) de la tasa de precipitación (en mm/día), por grado de aumento de la temperatura media global, en verano e invierno, cuando se duplica la concentración actual de CO₂.



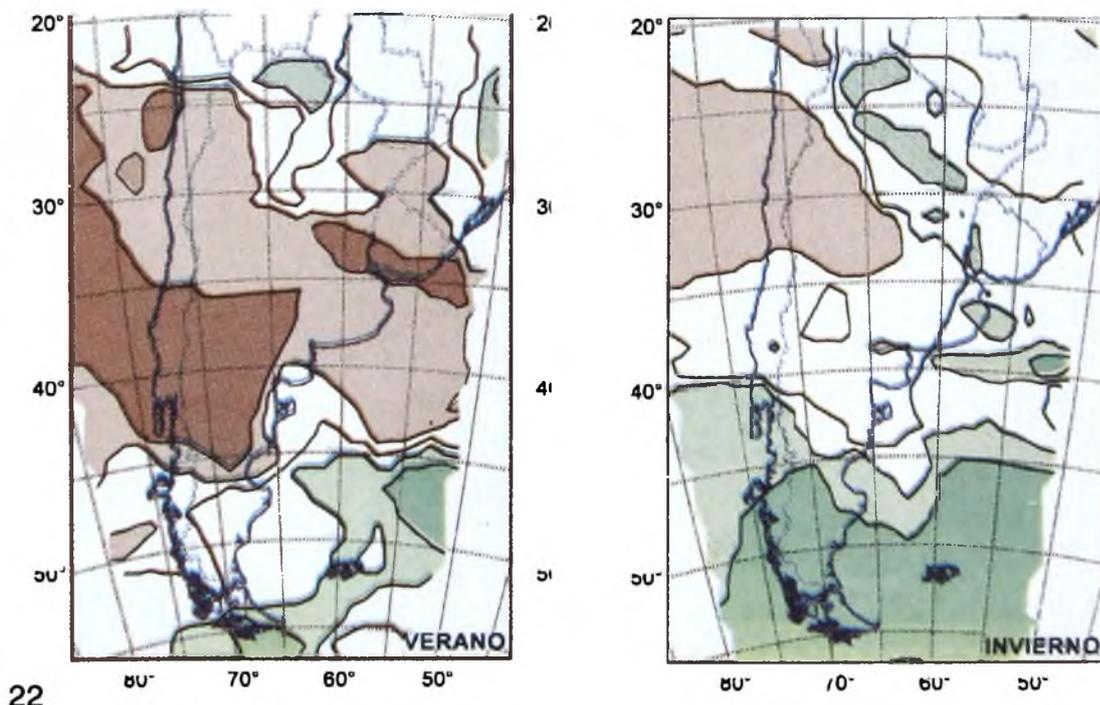
La zona centro - oeste del país experimentaría una importante disminución de las lluvias de verano, del orden de 0.15 mm/día por cada grado de aumento de la temperatura media global (aproximadamente una disminución de 13,5 mm en lluvia del trimestre de verano, por grado de aumento de la temperatura media global). Por otra parte, se proyectan aumentos menores en los extremos noroeste y noreste del país. El aumento en las lluvias del noreste de la Argentina estaría vinculado a una intensificación de la actividad convectiva en la denominada "zona de convergencia del Atlántico Sur", que afecta también el sudeste de Brasil, el este del Paraguay y el Uruguay.

En invierno se destaca un aumento de la lluvia en el sudoeste del país, dentro de la zona dominada por el régimen de lluvias invernales del Pacífico. Este incremento podría llegar a un valor máximo de 0,2 milímetros por día por cada grado de aumento de la tem-

peratura media global (aproximadamente 18 mm en el trimestre frío, por grado de aumento de la temperatura media global). En la zona centro - oeste se proyecta una disminución de la lluvia de invierno de menor magnitud que en verano, que es la estación de lluvias de la región.

En el caso de la lluvia, el grado de acuerdo entre las proyecciones de los distintos modelos es menor que en el caso de otras variables, lo cual aumenta la incertidumbre sobre estos resultados en particular. La Figura 7 muestra las áreas en las que la mayoría de los modelos (4 o 5 modelos sobre un total de 5) acuerdan sobre un aumento o una disminución de las lluvias. Esto muestra que existe amplio consenso sobre la disminución de lluvia de verano en el oeste argentino y sobre el aumento de las lluvias de invierno en el sur del país. En menor grado, también existe consenso sobre un aumento de la lluvia de verano en el noroeste argentino.

Figura 7: Acuerdo entre modelos sobre la variación de la lluvia. En las regiones rayadas verde oscuro los cinco modelos climáticos proyectan aumento de precipitación, mientras que en aquellas rayadas verde claro cuatro de los cinco modelos proyectan aumento de la precipitación. En las zonas rayadas en rojo los cinco modelos climáticos proyectan disminución de la precipitación, mientras que en aquellas rayadas en amarillo cuatro de los cinco modelos proyectan disminución de las lluvias. Se muestran los datos para el verano (a) y el invierno (b).



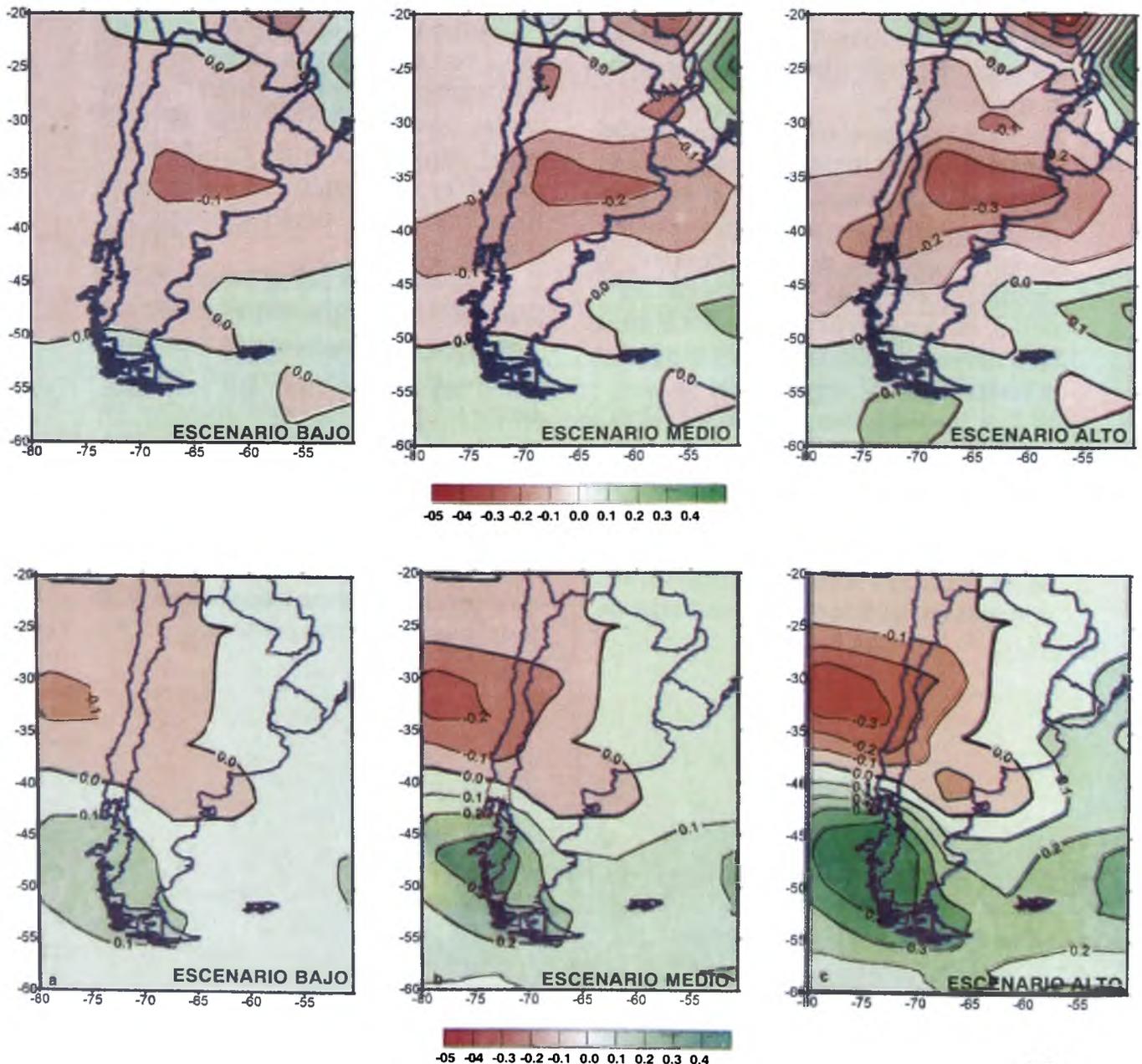
La Figura 8 permite comparar las características regionales de la variación de la precipitación, cuando se comparan los escenarios bajo, medio y alto de calentamiento global del IPCC (1996), aproximadamente hacia el año 2077 cuando la concentración de CO₂ duplica su valor actual.

El promedio climático de verano en el centro-oeste de nuestro país muestra una disminución máxima de las lluvias de 0.1 mm/día en el escena-

rio bajo, que contrasta con una disminución máxima de 0.3 mm/día en el escenario alto (9 y 27 mm en la lluvia del trimestre, respectivamente).

El aumento promedio de la lluvia invernal en el sudoeste de la Argentina estaría comprendido entre 0.1 y 0.4 mm/día (9 y 36 mm en la lluvia del trimestre, respectivamente), cuando se toma en cuenta el rango de escenarios de calentamiento global del IPCC.

Figura 8: Variación de la tasa de precipitación (en mm/día) para los escenarios de calentamiento global bajo (izquierda), medio (centro) y alto (derecha) del IPCC (1996), en verano (panel superior) e invierno (panel inferior).



6. Futuros desarrollos

Las investigaciones climáticas en la Argentina tienen potencial aplicación sobre un amplio espectro de actividades productivas como: la generación de hidroelectricidad, el turismo, la agricultura, la ganadería y la forestación.

Los resultados expuestos muestran con gran claridad la conveniencia de efectuar un control de las variables climáticas, para advertir tempranamente las señales de cambio climático en la Argentina. Al mismo tiempo, señalan la necesidad de desarrollar y perfeccionar las herramientas de pronóstico climático necesarias para prever variaciones interanuales y tendencias de largo plazo en el clima de nuestra región.

El desarrollo de escenarios del clima futuro permite diseñar políticas para prevenir o atemperar el impacto del calentamiento global en aspectos como: el ascenso del nivel del mar, el desplazamiento de las fronteras agrícolas, la desertificación, los incendios forestales, las inundaciones y sequías y las olas de calor, entre otros.

En los próximos años el IPCC espera obtener estimaciones más precisas sobre las fuentes y sumideros de los distintos gases invernadero, las que permitirán reducir una parte importante de la incertidumbre contenida en las actuales proyecciones de las tasas de

emisión de estos gases. Sin embargo, otra parte significativa de la incertidumbre es irreductible ya que dependerá de las conductas humanas que se adopten en el futuro.

Los modelos climáticos se encuentran en un estado de permanente revisión y actualización, conforme avanza el conocimiento científico. Continuamente se trata de incorporar la representación de nuevos procesos físicos, y de mejorar la representación de los ya incluidos. El mayor desafío actual consiste en mejorar el modelado de las nubes y los procesos radiativos asociados y el modelo del ciclo del CO₂ en los océanos (Whetton, et al., 1995). Por otra parte, el crecimiento continuo del poder de cómputo disponible y la drástica disminución de su costo, mejoran las posibilidades de obtener resultados regionales más detallados y confiables, aplicables a estudios de impacto sobre el medio ambiente y la producción.

El Área de Física Ambiental del CENPAT participa activamente en proyectos de cooperación científica nacionales e internacionales, consolidando un grupo de investigaciones sobre pronóstico y variabilidad climática.

Nada más; así que agradezco nuevamente la distinción recibida que será un acicate para continuar en la tarea y a ustedes distinguido público, les agradezco el acompañarme y la gentil atención a mis palabras.

Referencias

IPCC, 1992: Climate Change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment, J.T. Houghton, Callander, B.A., and Varney, S.K. (Eds.), Working Group 1. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 1996: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., y Maskell, K. (Eds.), Contribution of Working Group 1 to the second assessment of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.

Labraga, J.C. 1997: The climate change in South America due to a doubling in the CO₂ concentration: Intercomparison of general circulation model equilibrium experiments. *International Journal of Climatology*, 17, 377-398.

Labraga, J.C. y M. López, 1997: General circulation model simulate climate trends in South America due to an increment in the atmospheric CO₂ concentration. *International Journal of Climatology*, 17, 1635-1650.

Peixoto, J.P. y A.H. Oort, 1991: *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York, 520 pp.

Pittock, A.B., 1993: Climate Scenary Development Chapter 20, *Modelling Change in Environmental Systems*, ed. A.B. Jakeman, M.B. Beck, y M.J. McAleer, Wiley & Sons Ltd.

Timothy, C., E. Holopainen, y M. Kanninen (Eds.) 1995: *Techniques for developing regional climatic scenaries for Finland*. Academy of Finland, 2/93, 63 pp.

Whetton, P.H., A.B. Pittock, J.C. Labraga, A.B. Mullan, y A. Joubert 1995: Southern Hemisphere climate: comparing models with reality. *Climate Change: Developing Southern Hemisphere Perspectives*. A. Henderson-Sellers, y T.W. Giambelluca, Eds., John Wiley & Sons, 89-130.