

EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL*

L.A. SERIO¹

Recibido: 19/09/06

Aceptado: 20/12/06

RESUMEN

El presente trabajo es una transcripción adaptada de una conferencia dictada por el autor en el marco de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología, organizada por la Asociación Argentina de Agrometeorología (AADA) en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, entre el 5 y 8 de septiembre de 2006. Se presentan y comentan algunas evidencias del cambio climático global publicadas en el Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y resultados obtenidos por investigadores locales. Se discute, además, la utilidad e incertidumbres del uso de modelos climáticos como herramientas para la predicción del clima futuro. Las figuras originales fueron adaptadas al formato de la Revista y el texto fue enriquecido con el agregado de referencia bibliográficas.

Palabras clave. Efecto invernadero, cambio climático, modelos, impactos.

THE GLOBAL CLIMATE CHANGE

SUMMARY

This paper is an adapted transcription of a lecture talk by the author in the framework of the XI Reunión Argentina de Agrometeorología, organized by the Asociación Argentina de Agrometeorología (AADA) at La Plata city, Buenos Aires, between September 5th and 8th 2006. Some evidences of global climate change are shown and commented, all of them published in the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Some results obtained by local researchers are presented too. We discuss the usefulness and uncertainties of using climate models as future climate prediction tools. Original figures were adapted to the Journal format and the text was improved adding bibliographic references.

Key words. Greenhouse effect, climate change, modeling, impacts.

INTRODUCCIÓN

Es cada vez más común encontrarse con trabajos de investigación donde se observa una tendencia en algún elemento del clima, en alguna localidad o región determinada. Casi automáticamente surge la discusión: ¿esa tendencia es consecuencia de un cambio del clima o responde a su variabilidad natural? Esta presentación no pretende poner fin a esa discusión, muchas veces sin sentido, por la simple razón de que lo que se observa en un lugar puntual, en muchos casos, puede estar más condicionado por factores locales que por cuestiones globales.

Más allá de la discusión, no se debe dejar de reconocer que el cambio climático existe, así como también existe la variabilidad del clima en distintas escalas de tiempo. Ambos se deben a la acción de distintos factores o forzantes sobre el sistema climático, algunos de origen natural y otros de origen antropogénico.

*Actualización del tema expuesto como conferencia en la XI Reunión Argentina de Agrometeorología, La Plata, 5-8/09/06.

¹Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires, Argentina - Tel: (54-11) 4524-8074 - e-mail: serio@agro.uba.ar

Si bien el problema de las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI) derivados de la combustión, y su posible impacto sobre el clima, fue planteado por Arrhenius en 1897 (Barros, 2004), el tema comenzó a ser tratado con seriedad recién unas siete décadas después. Hoy en día, la cuestión del cambio climático global ha dejado de ser un problema exclusivo de la agenda científica y, progresivamente, se ha instalado en la agenda política internacional. En la primera parte de este informe, se repasa una breve cronología de este proceso. Luego, se presentan algunas evidencias del cambio ocurrido, a escala global y regional en algunos elementos del clima durante el siglo XX. A continuación, se hace referencia a las herramientas que se utilizan para la predicción del clima futuro y sus principales incertidumbres. Y para finalizar, se hace mención a la inercia de distintos componentes del sistema climático y sus consecuencias.

EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL: ALGUNOS SUCESOS SIGNIFICATIVOS

El primer hecho destacable para iniciar esta cronología es la celebración de la Primer Conferencia Mundial sobre el Clima, en 1979 en Estocolmo, Suecia. Allí, a la luz de las evidencias científicas del calentamiento del planeta, se acordó solicitar a los gobiernos que encaren en forma coordinada este “problema ambiental de características globales y consecuencias impredecibles”.

A mediados de los ochenta, los gobiernos deciden que el problema debería ser estudiado por un organismo independiente. Así, en 1988 las Naciones Unidas crean el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), donde convergen expertos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Cabe aclarar que el IPCC no hace investigación, sino que se encarga de recopilar toda la información científica publicada, y emite informes cuyo contenido se acuerda por consenso.

En 1990, el IPCC presenta su Primer Informe de Evaluación. En él se mostraba la tendencia de la temperatura media global y se concluía que las emisiones antropogénicas de GEI estaban produciendo un aumento sustancial de sus concentraciones en la atmósfera. Sin embargo, se señalaba que debía avanzarse en el conocimiento de la relación causa-efecto, para distinguir entre la variabilidad natural del clima y el impacto antropogénico.

El Primer Informe aceleró el proceso de negociación que llevó a la firma de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), durante la Cumbre “Río ‘92”, considerada como el encuentro más importante sobre medio ambiente y desarrollo realizado en la historia de la humanidad. Allí, además del de Cambio Climático, se firmaron otros cinco convenios internacionales sobre temas ambientales de alcance mundial. La CMNUCC plantea como objetivo final lograr “la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel que no resulte peligroso para el sistema climático”. Y que ese nivel debería alcanzarse “en un plazo que permita a los ecosistemas adaptarse al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”. Señala, además, que “la falta de certeza científica no debería utilizarse como razón para posponer la adopción de medidas contra el cambio climático”.

En 1995, el IPCC publica su Segundo Informe de Evaluación. Este va un poco más allá que el anterior, al concluir que “el conjunto de las pruebas indica la existencia de una influencia humana discernible en el cambio climático”. Profundiza, además, sobre los posibles impactos en los ecosistemas y el bienestar de la humanidad, a la vez que considera algunas estrategias de mitigación y adaptación para responder al cambio climático.

Mientras tanto, en el plano político-diplomático continuaba el proceso de negociaciones que se vio plasmado en el Protocolo de Kyoto, acordado en Japón, en 1997. El Protocolo establece plazos y límites cuantificados para las emisiones de GEI de los países desarrollados y define algunos “mecanismos de flexibilidad” para reducir el impacto sobre las economías de estos países. Entre estos se encuentra el Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL), que permite a países desarrollados financiar proyectos de mitigación en países en desarrollo y beneficiarse con la reducción de emisiones resultante, abriendo un nuevo mercado de “bonos de carbono” o “bonos verdes”.

El Tercer Informe de Evaluación del IPCC fue publicado en 2001, y en él está basada la mayor parte de esta síntesis. La conclusión más importante es que se reconoce que “es improbable que los cambios observados en el clima global sean causados íntegramente por la variabilidad natural”, y que se deben a una combinación de forzantes antropogénicos y naturales. El informe presenta proyecciones del clima para fines del presente siglo, basadas en distintos escenarios socio-económicos supuestos, y se refiere a algunas estrategias para abordar el problema.

El Tercer Informe del IPCC presenta al cambio climático desde un enfoque integrado, teniendo en cuenta la dinámica del ciclo completo de causas y efectos. La Figura 1 (IPCC, 2003) muestra ese ciclo, donde las vías de desarrollo socio-económico aparecen como las fuerzas impulsoras que originan las emisiones de GEI y el aumento de sus concentraciones en la atmósfera, con los consecuentes impactos sobre el sistema climático y los sistemas naturales y humanos. Insertas en este esquema aparecen las medidas de mitigación, como aquellas que tienden a atenuar las emisiones de GEI, y las medidas de adaptación, como las orientadas a reducir los impactos tanto en los sistemas naturales como en los humanos y económicos.



FIGURA 1. Representación esquemática del ciclo de causas y efectos del cambio climático.
(Fuente: IPCC 2003).

EL CAMBIO OBSERVADO EN ALGUNOS ELEMENTOS DEL SISTEMA CLIMÁTICO DURANTE EL SIGLO XX

Los registros de la evolución de las concentraciones de los principales GEI son la mayor evidencia de la influencia humana sobre la composición atmosférica. En la Figura 2 (IPCC, 2003) se muestran los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) durante los últimos 1000 años. Se puede ver cómo las concentraciones de los tres gases aumentaron dramáticamente durante los últimos 200 años luego de permanecer casi constantes desde, al menos, principios del milenio anterior. Las principales fuentes antropogénicas de estos gases son, en el caso del CO_2 , la utilización de combustibles fósiles en la generación de energía y el transporte y los cambios en el uso del suelo (principalmente la deforestación). En cuanto al CH_4 la principal fuente es la ganadería, por la fermentación entérica del ganado vacuno, seguida por los rellenos sanitarios y el cultivo de arroz. El N_2O tiene su principal fuente en la agricultura, por el uso de fertilizantes nitrogenados (Barros, 2004).

En el eje de la derecha de la Figura 2, el cambio en la concentración aparece expresado en unidades de forzamiento radiativo (W m^{-2}). Este es una medida del impacto del cambio de concentración de los GEI sobre el balance de radiación en la tropopausa (el límite superior de la troposfera, a unos 12 km de altura). Los valores positivos equivalen a un aumento en la radiación neta, o sea mayor cantidad de energía disponible para el sistema climático. Esto se traduce en un calentamiento de la superficie terrestre y la troposfera. En cambio, un forzamiento radiativo negativo sería causal de enfriamiento. En la Figura 2 se ve que el forzante radiativo relacionado al aumento de concentración de CO_2 es de $1,5 \text{ W m}^{-2}$, el de CH_4 $0,5 \text{ W m}^{-2}$ y el de N_2O $0,15 \text{ W m}^{-2}$.

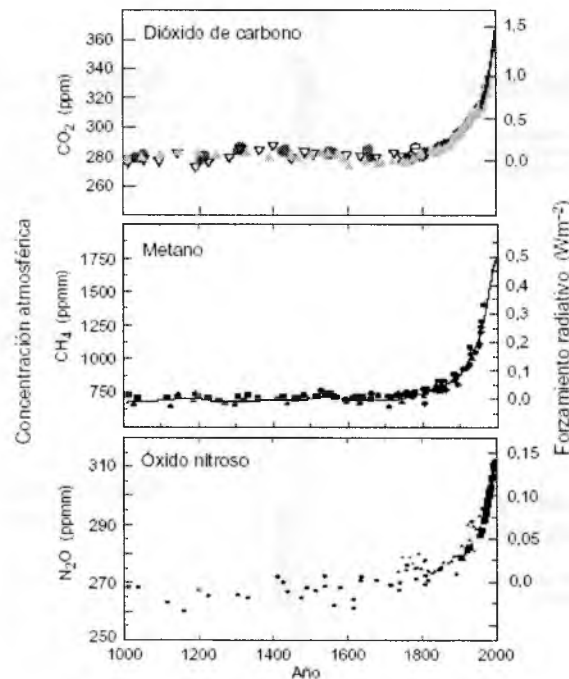


FIGURA 2. Indicadores de la influencia humana en la atmósfera durante la era industrial. (Fuente: IPCC, 2003).

En la Figura 3 (IPCC, 2003), el forzamiento radiativo acumulado de los GEI, entre 1750 y 2000, aparece comparado con el de otros contaminantes y procesos. En el extremo izquierdo de la gráfica está representado el efecto aditivo de los GEI, que alcanza unos $2,5 \text{ W m}^{-2}$. En el otro extremo aparece la actividad solar, el único factor natural que tuvo cambios relativamente importantes durante el período considerado. Se puede ver que la magnitud del forzamiento solar no fue mucho más del 10% del correspondiente a los GEI antropogénicos.

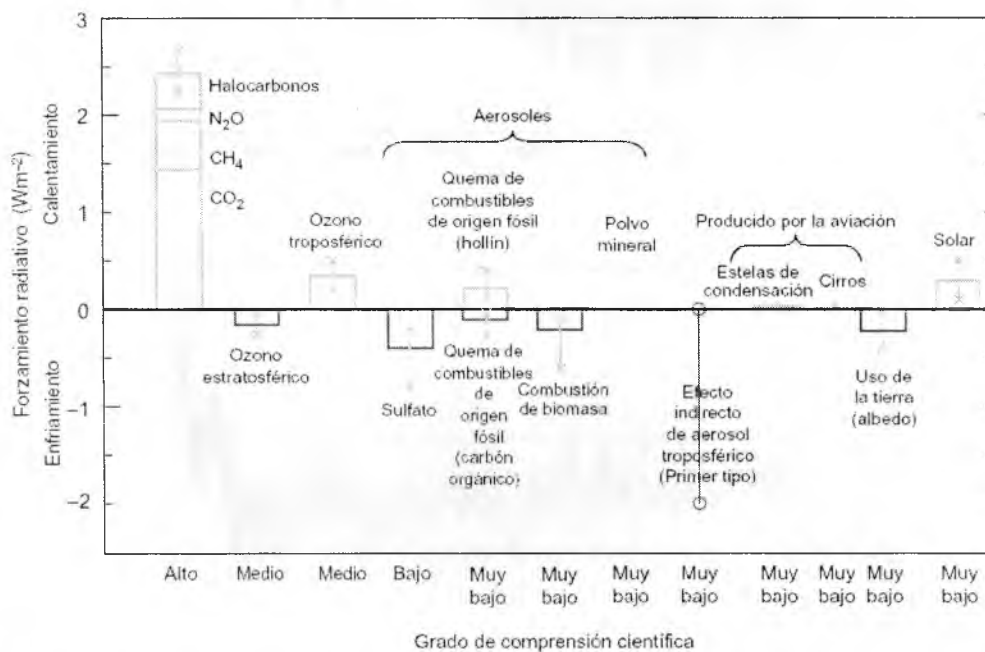


FIGURA 3. Forzante radiativo antropogénico y natural del clima en el año 2000, respecto al año 1750. (Fuente: IPCC, 2003).

La temperatura de la Tierra ha ido cambiando en respuesta a esta combinación de forzantes naturales y antropogénicos. En la Figura 4 (IPCC, 2003) se muestra la variación de la temperatura media global en los últimos 140 años y una estimación de la evolución de las mismas durante los últimos 1000 años. En la Figura 4a se observa que durante el siglo XX hubo dos períodos de calentamiento, uno entre 1910 y 1945, y el otro que se inició en la década del '70 y continúa hasta el presente. Ambos estuvieron separados por un período de relativa estabilidad en la temperatura, incluso con un leve enfriamiento. Sobre las causas de este comportamiento de la temperatura se volverá más adelante. Lo importante de señalar aquí es que durante el siglo pasado la temperatura media mundial se incrementó casi 0,7 grados centígrados, y que la magnitud de ese aumento no tiene precedentes durante al menos el último milenio, como se ve en la Figura 4b. La distribución espacial de estos cambios no fue homogénea, sino que los mayores aumentos ocurrieron sobre los continentes, principalmente en las latitudes altas del Hemisferio Norte e incluso se produjeron leves enfriamientos en algunas regiones oceánicas (IPCC, 2003).

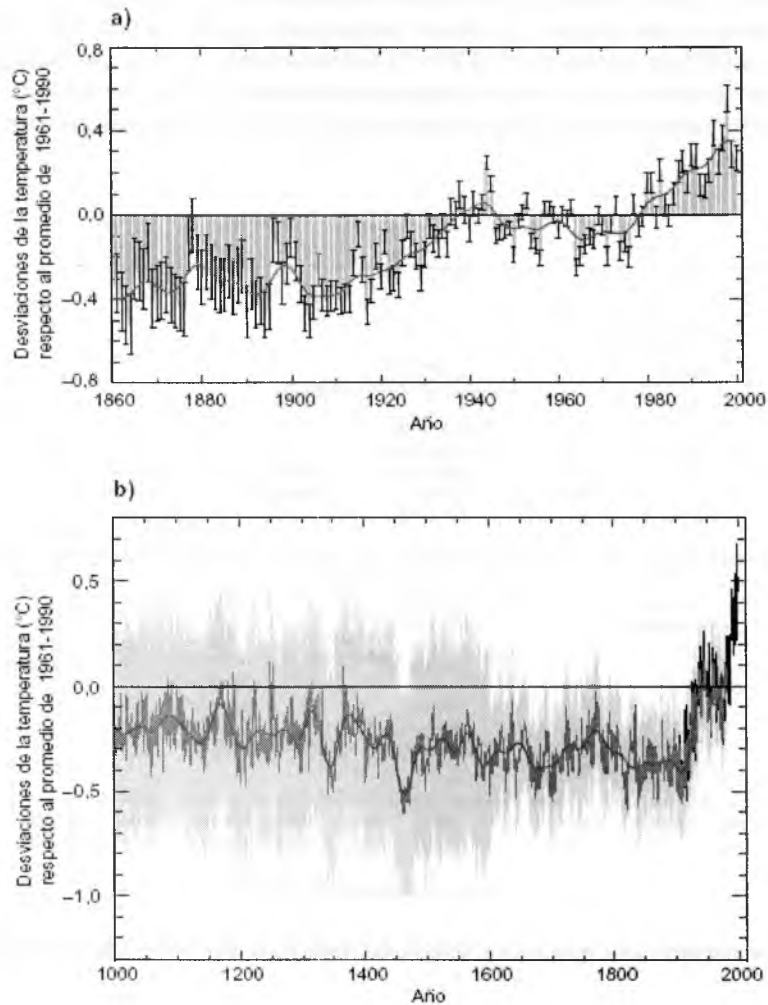


FIGURA 4. Variaciones de la temperatura media de la superficie terrestre (anomalías respecto al promedio 1961-1990). a) Media mundial entre los años 1860 y 2000, según datos de termómetros. b) Media del Hemisferio Norte entre los años 1000 y 2000, según distintas estimaciones. (Fuente: IPCC, 2003).

La inhomogeneidad en los cambios de temperatura alteró los gradientes térmicos. Esto trajo como consecuencia una alteración en la circulación general de la atmósfera y, por lo tanto, en los patrones de distribución de las precipitaciones. En la Figura 5 (IPCC, 2003) se muestran las tendencias porcentuales observadas en las precipitaciones durante el siglo XX. Estas indican una preponderancia de los aumentos de precipitación sobre los continentes, principalmente en latitudes medias y altas. Sin embargo, hubo tendencias decrecientes en muchas zonas desérticas, incrementando aún más el contraste regional. Se destaca lo ocurrido al sur de Sudamérica, donde la cordillera de los Andes divide dos regiones fuertemente contrastantes, con aumentos de un 25% en las precipitaciones al este y disminución del 50% al oeste.



FIGURA 5. Tendencias porcentuales de las precipitaciones anuales durante el siglo XX. Los tonos de gris claro corresponden a disminuciones y los oscuros a aumentos. En ambos casos el área de los círculos se relaciona con la magnitud de la tendencia. (Fuente: IPCC, 2003).

El impacto del calentamiento global puede medirse utilizando otro tipo de indicadores, no sólo la temperatura media mundial. Por ejemplo, es muy probable que el calentamiento sea el responsable de la elevación observada del nivel de mar, tanto por la expansión térmica de las aguas como por la fusión parcial de los hielos. En la Figura 6 (IPCC, 2003) se muestran registros obtenidos en algunos puertos de Europa desde 1700 hasta el presente, donde se ve una tendencia creciente en los últimos 150 años, con aumento de unos 15 cm.

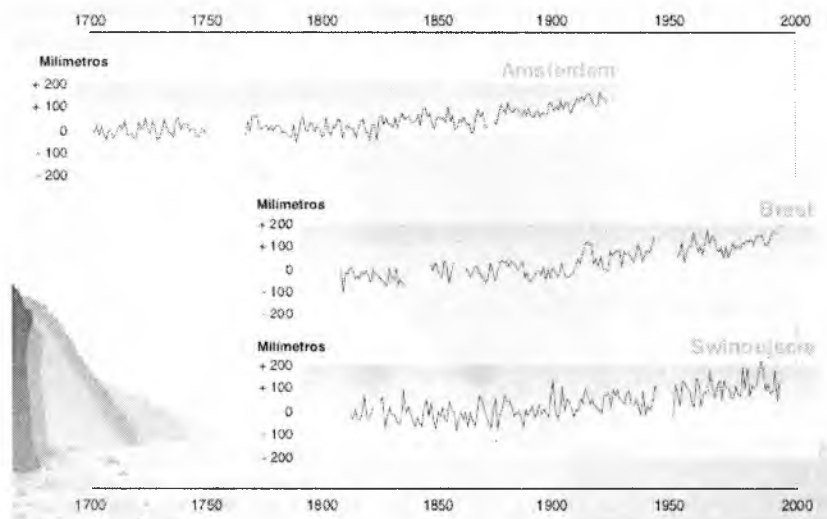


FIGURA 6. Evolución de los niveles del mar en tres puertos de Europa durante los últimos 300 años. Los registros corresponden a Ámsterdam (Holanda), Brest (Francia) y Swinoujscie (Polonia). (Fuente: IPCC, 2003).

ALGUNOS CAMBIOS OBSERVADOS EN LA ARGENTINA

En la Argentina, han ocurrido algunas fluctuaciones del clima no siempre directamente relacionadas con el cambio climático global. De todos modos, los cambios ocurrieron y aquí se mencionarán algunos resultados de trabajos publicados, sin tener en cuenta si son consecuencia o no del calentamiento global.

Temperatura

La temperatura media anual aumentó en casi todo el país, aunque no de manera homogénea. El aumento fue de 0,2° C en promedio en el norte y de alrededor de 1 °C en la Patagonia (Hoffmann *et al.*, 1997). Esta diferencia obedece a que en el centro y norte las temperaturas mínimas aumentaron y las máximas disminuyeron, afectando principalmente a la amplitud térmica (Pascale y Damario 1993/94). En cambio, en la Patagonia ambas aumentaron, contribuyendo al aumento de la temperatura media (Rusticucci y Barrucand, 2004). Un indicador de estos cambios térmicos es el retraimiento de la superficie de casi todos los glaciares de montaña (Barros, 2006).

Precipitaciones

En general, las precipitaciones aumentaron en la franja central y este (Castañeda y Barros, 1994) y disminuyeron sobre y al oeste de la cordillera, tal como se mostraba en la Figura 5. En el primer caso, las tendencias positivas resultaron en el conocido desplazamiento hacia el oeste de la frontera agrícola, por una mayor disponibilidad de agua para los cultivos (Sierra *et al.*, 1994; Damario y Pascale, 2003). La contracara se ve en los valles al pie de los Andes, en la región de Cuyo y el Comahue, donde la economía depende fuertemente de la disponibilidad de agua para riego originada en la fusión de nieve en las altas cumbres y los caudales de los ríos han disminuido en las últimas dos décadas (Barros, 2006).

En la Figura 7 (Camilloni y Doyle, 2004) se muestra la distribución espacial de los aumentos de la precipitación anual media de las últimas cuatro décadas en el sudeste de Sudamérica. Las tendencias fueron positivas en casi toda la región, y se observan dos zonas donde se produjeron los máximos aumentos, uno en La Pampa y el oeste de Buenos Aires (de unos 200 mm) y otro aún mayor en el extremo noreste del país (alrededor de 300 mm).

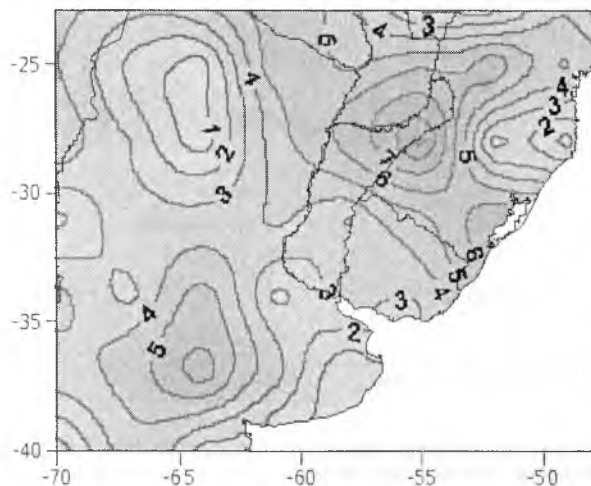


FIGURA 7. Tendencias de la precipitación media anual 1960-2000 (mm/año) en el sudeste de Sudamérica (Fuente: Camilloni y Doyle, 2004).

La distribución estacional de estos aumentos de precipitación tampoco fue homogénea, concentrándose mayormente en el semestre cálido, entre los meses de octubre y marzo (Hurtado *et al.*, 1996; Baethgen *et al.*, 2004; Serio y Martín, 2006). Debido a ello, se produjo una tendencia al cambio de régimen de las precipitaciones, donde el ciclo semianual con máximos en otoño y primavera fue perdiendo importancia frente al ciclo anual con máximo en verano y mínimo en invierno (Rusticucci y Penalba, 2000).

La frecuencia de los episodios de precipitaciones intensas también se ha incrementado en el centro y este de la Argentina desde la década del '70. En la Figura 8 (Berbery *et al.*, 2006) se ve que el número de casos con precipitación mayor a 100 mm acumulados en períodos de hasta 48 h se ha triplicado en las últimas décadas.

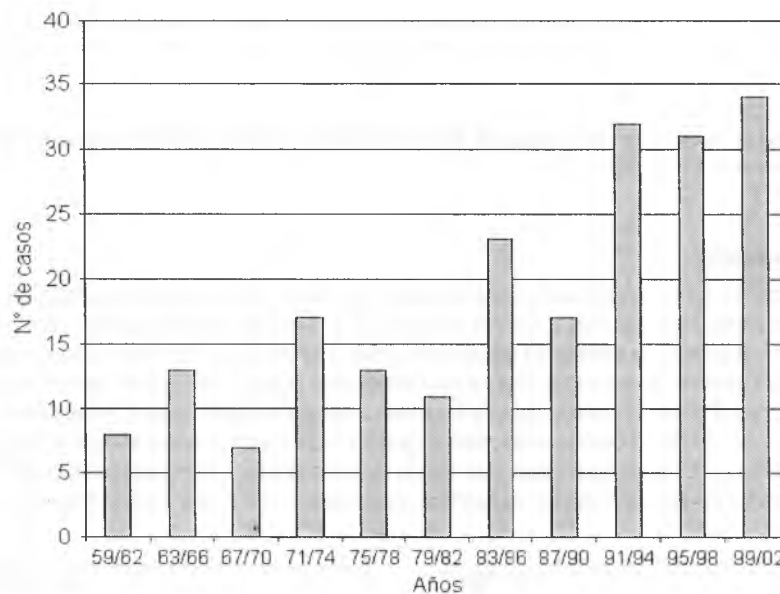


FIGURA 8. Cantidad de eventos (acumulados cada 4 años) con precipitación mayor que 100 mm en 48 horas en el centro y norte de la Argentina. (Fuente: Berbery *et al.*, 2006).

Heladas

Con respecto a las heladas, en un análisis reciente de 55 localidades de la Región Pampeana, Fernández Long y Müller (2006) encontraron que, en promedio para toda la región, se produjo una disminución de la frecuencia de días con heladas durante los últimos cuatro decenios (Figura 9). Sin embargo, algunas localidades del sur de la provincia de Buenos Aires mostraron una tendencia en sentido inverso. La longitud del período con heladas disminuyó en la última década respecto de las tres anteriores, como consecuencia principalmente del retraso en la fecha media de primera helada, a excepción también del sur de la provincia de Buenos Aires (Fernández Long *et al.*, 2005). Las fechas medias de última helada sufrieron adelantos en algunas localidades y atrasos en otras.

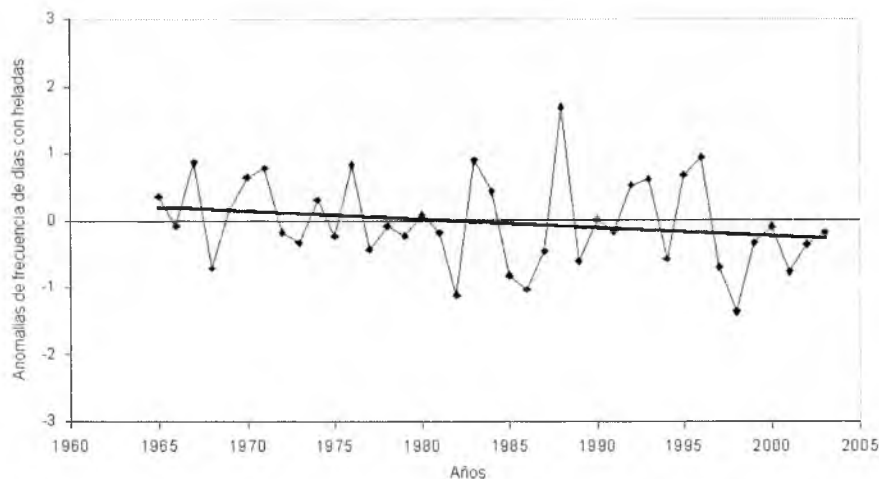


FIGURA 9. Anomalías de la frecuencia anual de días con heladas. Promedios de 55 estaciones de la Pampa Húmeda. (Fuente: Fernández Long y Müller, 2006).

Circulación atmosférica

Se sabe que gran parte del vapor de agua que ingresa al territorio argentino es impulsado por la circulación atmosférica relacionada al anticiclón del Atlántico Sur. A partir de la década del '70, y especialmente durante el verano, se observó una tendencia de este anticiclón a intensificarse y desplazarse algunos grados de latitud hacia el sur, como se muestra en la Figura 10 (Camilloni y Doyle, 2004). Este cambio en la circulación a escala regional sería, al menos en parte, una de las causas del aumento de la precipitaciones en la cuenca del Plata (Berbery *et al.*, 2006). Además, este cambio produjo una rotación hacia el este en la dirección preponderante del viento en la desembocadura del río de la Plata (Figura 10) que resulta coherente con el aumento observado del nivel medio del río de la Plata, presentado en la Figura 11 (D'Onofrio *et al.*, 2003).

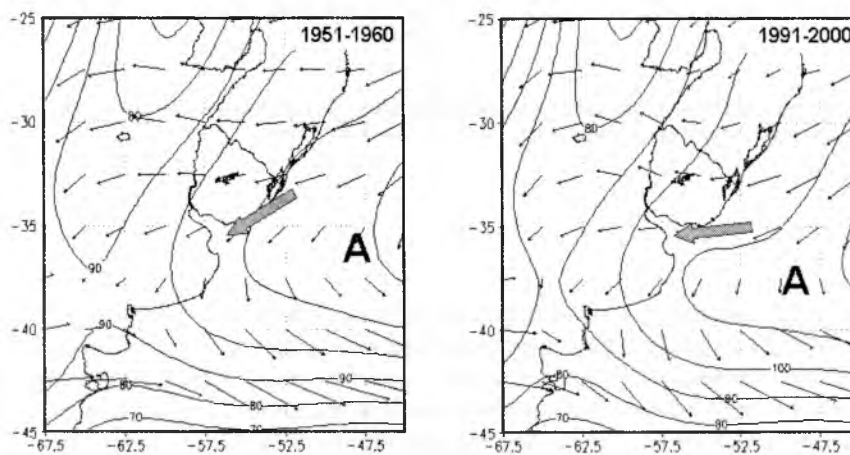


FIGURA 10. Campos medios de presión del trimestre de verano, posición del anticiclón del Atlántico y dirección preponderante del viento en la desembocadura del río de la Plata. Izquierda: 1951-1960; derecha: 1991-2000. (Fuente: Camilloni y Doyle, 2004).

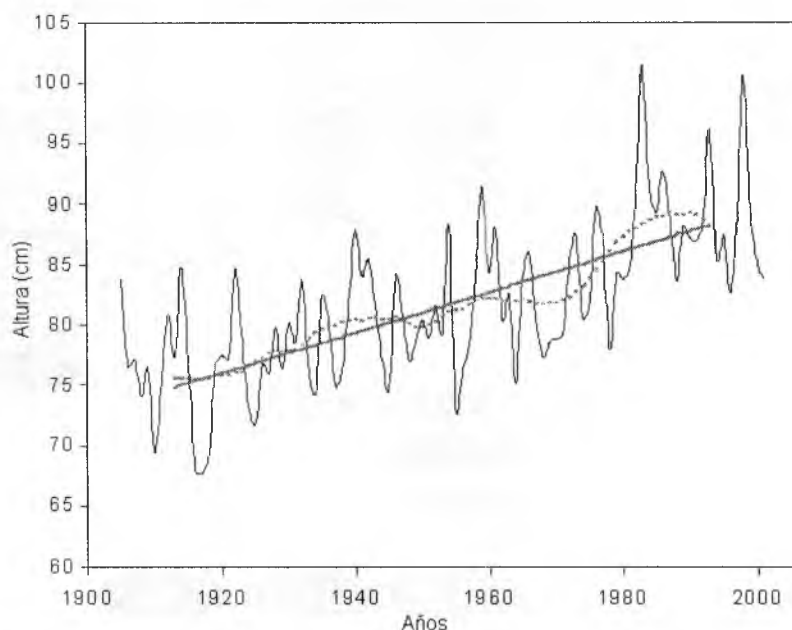


FIGURA 11. Altura media del río de la Plata en el puerto de Buenos Aires (línea llena fina), promedio móvil de 10 años (línea de trazos) y tendencia lineal (línea gruesa). (Fuente: D'Onofrio *et al.*, 2003).

LOS MODELOS CLIMÁTICOS COMO HERRAMIENTAS PARA LA PREDICCIÓN

En vista de las variaciones sufridas por el clima, cabe preguntarse qué nos puede deparar el futuro. Para hacer proyecciones del clima futuro es necesario recurrir a la simulación con modelos climáticos. Como todo modelo, estos consisten en una representación idealizada de la realidad (en este caso, la evolución futura del clima) mediante una serie de ecuaciones matemáticas que describen los distintos tipos de procesos geofísicos, químicos y biológicos que son importantes para la evolución del clima. Los modelos representan estos procesos dentro de cada componente del sistema climático, así como también los que toman parte en las interacciones entre componentes.

Una síntesis de la evolución de los modelos climáticos se presenta en la Figura 12 (IPCC, 2003). Desde mediados de la década del '70, éstos se han ido perfeccionando paralelamente al crecimiento de la capacidad computacional. Al principio los modelos representaban sólo a la atmósfera, pero de a poco se fueron creando y acoplando modelos de cada uno de los componentes del sistema climático (océanos, superficie terrestre, hielos marinos, vegetación) y de distintos procesos (ciclos del agua, carbono, etc.). Actualmente, los modelos climáticos tienen un alto grado de confiabilidad, ya que puestos a "correr" con condiciones iniciales del pasado describen correctamente la evolución del clima hasta el presente.

Los modelos se han convertido en una herramienta fundamental en la atribución de las causas del calentamiento global. En la Figura 13 (IPCC, 2003) se muestra el resultado de tres simulaciones, en las que incluyeron sólo los forzamientos naturales, sólo los antropogénicos y todos los forzamientos juntos. Cada una de ellas se compara con la evolución observada de la temperatura media global. Se puede ver que el calentamiento ocurrido en la primer parte del siglo XX puede ser atribuido a causas naturales, pero que el calentamiento de las últimas décadas sólo puede atribuirse a efectos antropogénicos.

La elaboración de modelos climáticos: pasado, presente y futuro



FIGURA 12. Evolución de la complejidad de los modelos climáticos. (Fuente: IPCC, 2003).

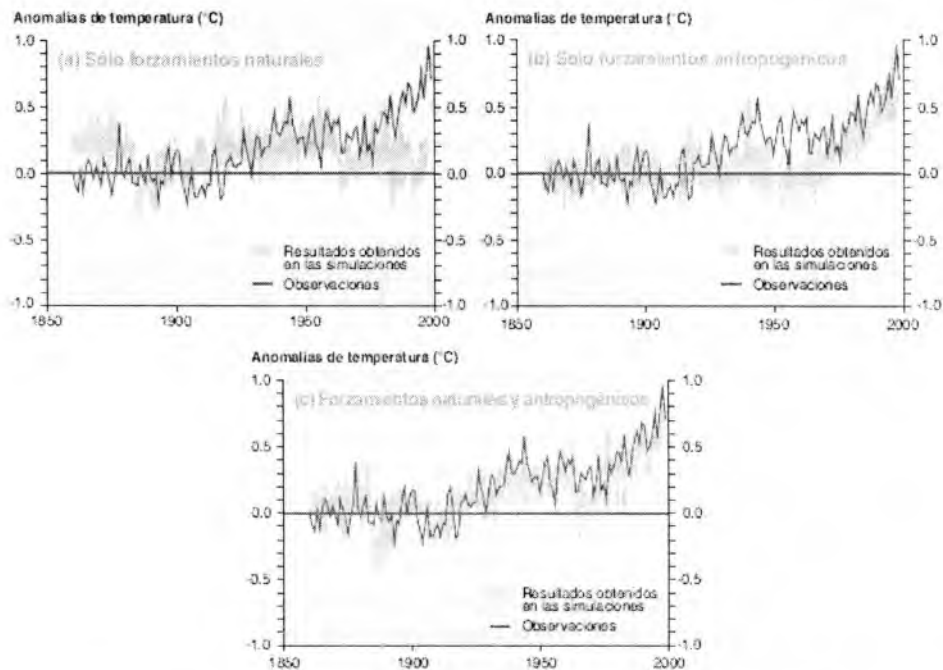


FIGURA 13. Comparación de las anomalías observadas de la temperatura media global con las obtenidas mediante simulaciones con modelos climáticos, incluyendo: a) sólo forzantes naturales (solar y volcánico); b) sólo forzantes antropogénicos (GEI, ozono y aerosoles); c) ambos tipos de forzantes. (Fuente: IPCC, 2003).

La confiabilidad del uso de modelos para la predicción del clima futuro está limitada no por la bondad del modelo en sí, sino por la incertidumbre en las concentraciones futuras de GEI. Una forma de manejar esa incertidumbre es el desarrollo de escenarios. Un escenario futuro es el estado que adquirirían las distintas variables de un sistema, bajo la suposición de la ocurrencia de ciertas circunstancias que las determinan (Barros, 2004). La construcción de escenarios climáticos sigue el esquema de la Figura 14. Visto desde abajo hacia arriba, las proyecciones del clima futuro se obtienen con modelos climáticos, cuya variable de entrada son las concentraciones de GEI. Estas, a su vez, dependen de las emisiones, y la relación entre ambas es simulada mediante modelos del ciclo del carbono y otros ciclos biogeoquímicos. Pero las emisiones futuras de GEI estarán fuertemente condicionadas por el desarrollo socioeconómico, entre cuyas componentes se encuentran el crecimiento demográfico, la forma en que se satisfaga la creciente demanda energética, cómo se sucedan los cambios tecnológicos y de uso del suelo, etc. Y es en este punto donde se concentra la mayor incertidumbre de las proyecciones del clima futuro. De hecho, el rango de incertidumbre en las proyecciones publicadas en el último informe del IPCC (2003), entre 1,4 y 5,8 °C para la temperatura media mundial en 2100, se debe en mayor medida a los diferentes escenarios planteados que a la gama de modelos utilizados.

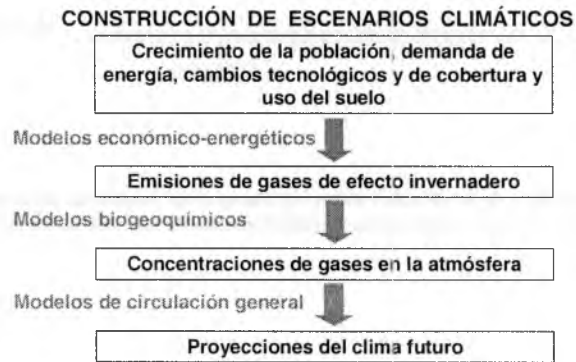


FIGURA 14. Esquema de la construcción de escenarios climáticos. (Adaptado de Barros, 2004).

Por último, no debe dejarse de considerar a la inercia, entendida como el tiempo de respuesta de un sistema ante un factor que altera su ritmo de cambio. La inercia es una característica inherente de los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos. Por lo tanto, pueden pasar muchos años antes de que algunos impactos del cambio climático se manifiesten. Incluso, el efecto de las medidas de mitigación puede manifestarse mucho tiempo después de que esas medidas sean adoptadas. Esto obedece a que el CO_2 tiene un tiempo medio de permanencia en la atmósfera de entre 100 y 200 años. Otros GEI tienen tiempos de permanencia más cortos, como el CH_4 (10 a 14 años), mientras que algunas variedades de clorofluorocarbonos (CFC), afortunadamente no muy abundantes, pueden permanecer en la atmósfera por varios miles de años.

Los tiempos de respuesta de todo el sistema climático a los cambios térmicos están condicionados a los tiempos de respuesta de los océanos y las masas de hielo. Debido a su gran masa y elevada capacidad calórica, un nuevo equilibrio térmico entre la atmósfera, los océanos y la criósfera puede tardar varios siglos en alcanzarse, si es que se logra reducir sustancialmente y estabilizar las emisiones de GEI. La Figura 15 (IPCC, 2003) es una ilustración genérica de ello. En consecuencia, sería de esperar que la temperatura y el nivel del mar continúen subiendo aún mucho tiempo después de reducirse las emisiones de GEI.

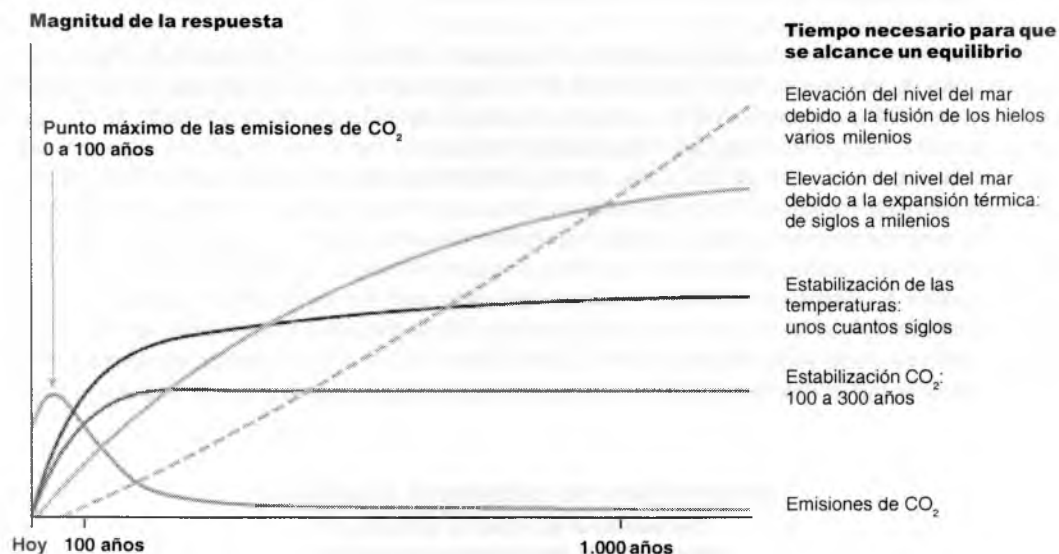


FIGURA 15. Ilustración cualitativa de la relación entre los tiempos de respuesta de la concentración de CO₂, la temperatura y el nivel del mar, ante una reducción y estabilización de las emisiones de CO₂. (Fuente: IPCC, 2003).

CONSIDERACIONES FINALES

El cambio climático es una realidad reconocida por la comunidad científica internacional. Es un proceso lento cuyas consecuencias se irán viendo, si no es que las estamos viendo ya, en distintos elementos de la naturaleza y sectores de la sociedad. La agricultura tiene una dependencia directa del clima, por lo tanto está particularmente expuesta a los impactos del cambio climático; impactos que pueden resultar benéficos para algunas actividades y en algunos lugares o perjudiciales para otros. La necesidad de implementar medidas de mitigación o adaptación involucra, entre otros, a los sectores agrícola, forestal y ganadero. La captura de carbono en bosques y suelos agrícolas, el desarrollo de biocombustibles y el aumento en la eficiencia del uso del agua y los fertilizantes son algunos ejemplos de medidas de mitigación, y el MDL abre la posibilidad de canalizar inversiones en ese sentido. El mercado de los seguros climáticos tiene también un potencial de desarrollo ante la creciente vulnerabilidad de la producción. En cuanto a la adaptación, algunas medidas han surgido en forma no planificada; la expansión de la frontera agrícola hacia el oeste es un ejemplo de ello. Sin embargo, se requiere de planes de adaptación a mediano y largo plazo, para lo cual resulta imperioso contar con estimaciones cada vez más precisas de los posibles impactos del cambio climático a escala regional.

BIBLIOGRAFÍA

- BAETHGEN, W.; A. GIMENEZ; G. MAGRIN; M. TRAVASSO; G. CUNHA and M. FERNANDES. 2004. Observed changes in climatic variables relevant for agricultural production during 1930-2000 in the Pampas region of Argentina, Brazil and Uruguay. Second AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean. Buenos Aires, 24-27 August, 2004.
- BARROS, V. 2004. El Cambio Climático Global. Libros del Zorzal, Buenos Aires. 176 p.
- BARROS, V. 2006. Adaptation to Climate Trends: Lessons from the Argentine Experience. AIACC Working Paper N° 38.
- BERBERY, E.H.; M. DOYLE y V. BARROS. 2006. Tendencias regionales de la precipitación. *En: El Cambio Climático en la Cuenca del Plata*. V. Barros, R. Clarke y P. Silva Dias (eds.). CONICET, Buenos Aires. pp 67-79.
- CAMILLONI, I. and M. DOYLE. 2004. Southern South America climate trends. Second AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean. Buenos Aires, 24-27 August, 2004.
- CASTAÑEDA, M.E. y V. BARROS. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19: 23-32.
- D'ONOFRIO, E.E.; M.E. FIORE y E.H. RUIZ. 2003. Tendencia relativa del nivel medio del río de la Plata en el puerto de Buenos Aires. *En: Contribuciones a la Geodesia Aplicada*. E. Pellejá (Dir.). Instituto de Geodesia, Facultad de Ingeniería, Univ. de Buenos Aires. Publicación N° 2003:1. pp 11-20.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE. 2003. Disponibilidad de agua para los cultivos en la región oriental de la Argentina en el período 1961-2000. *Rev. Facultad de Agronomía* 23(1-2): 169-180.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E.; I. BARNATAN; L. SPESCHA; R. HURTADO y G. MURPHY. 2005. Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Facultad de Agronomía* 25(3): 247-257.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E. and G. MÜLLER. 2006. Annual and monthly trends in frost days in the Wet Pampa. Proceeding of the 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguazú, Brasil, 24-28 April, 2006.
- HOFFMANN, J.; S. NUÑEZ and W. VARGAS. 1997. Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent Sub-Antarctic region during the present century. *Meteorol. Z. N. F.* 6: 3-11.
- HURTADO, R.; I. BARNATAN; C. MESSINA; A. BELTRAN y L. SPESCHA. 1996. Corrimiento de las isoyetas trimestrales medias en la Región Pampeana Argentina, 1940-1990. Actas del IV Congreso Colombiano de Meteorología. pp 141-146.
- IPCC. 2003. Cambio Climático 2001. Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza. 208 p.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1993/94. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 a 1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2): 127-138.
- RUSTICUCCI, M. and M. BARRUCAND. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *J. of Climate* 17: 4099-4107.
- RUSTICUCCI, M. and O. PENALBA. 2001. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Clim. Res.* 16: 1-15.
- SERIO, L. y P. MARTIN. 2006. Cambios en los valores centrales y extremos de las distribuciones mensuales de precipitación en el centro-este de Argentina. Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, 6 al 8 de septiembre de 2006. pp 279-280.
- SIERRA, E; R. HURTADO y L. SPESCHA. 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana, 1941-1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2): 139-144.