

ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

# BOLETIN



Volumen 43 N°3  
Julio de 1994



# PERSPECTIVAS DE LA PREDICCIÓN CLIMÁTICA ESTACIONAL A INTERANUAL Y APLICACIONES PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

Por A.D. MOURA\*

## El problema y su naturaleza mundial

La capacidad para predecir con exactitud las variaciones climáticas representa probablemente el elemento más importante para planificar, de una manera inteligente, las actividades futuras de las sociedades modernas.

Desgraciadamente, los actuales conocimientos científicos sólo han mostrado progresos a ciertas escalas, en especial a escalas cronológicas de estacionales (100 días) a interanuales (1 000 días), para las que se ha demostrado exactitud en la predicción, particularmente respecto al fenómeno del ENOS (El Niño/Oscilación del Sur). Este progreso científico es uno de los

mayores logros del programa PMIC/TOGA (Océano Tropical y Atmósfera Mundial), un programa internacional de investigación de diez años de duración, auspiciado por la OMM, el CIUC y la COI, que finaliza en diciembre de 1994 (OMM, 1985). Se espera que las actividades posteriores al TOGA, dentro del marco del nuevo programa CLIVAR, alcancen los objetivos posteriores del TOGA, en lo relativo a la modelización, la predicción, los estudios de los procesos y un sistema de observación apropiado.

El fenómeno del ENOS, como núcleo del TOGA, ha sido estudiado durante decenios, pero antes de 1980 ni siquiera se sabía cuándo se iniciaba un episodio del ENOS en el Pacífico. No había sistemas de observación apropiados, debido principalmente a la amplitud de

INPE Instituto Nacional de Investigación Espacial.  
Ministerio de Ciencia y Tecnología, Brasil

la cuenca donde se producía el fenómeno: unos 15 000 km en el Pacífico ecuatorial.

Con el desarrollo de los estudios empíricos, con la colocación de un conjunto de 67 boyas fijas Atlas del TOGA-TAO (Atmósfera y Océano Tropicales) en el Pacífico Tropical (Hayes y col., 1991), y con la primera predicción experimental del episodio del ENOS 1986/1987 mediante un modelo acoplado simplificado de la capa superior del Pacífico tropical y de la atmósfera situada sobre el (Cane y Zebiak, 1985), se inició una fuerte corriente hacia un tratamiento físico del problema, incluyendo un esfuerzo multinacional bien coordinado para producir, difundir y utilizar estas predicciones experimentales.

Al mismo tiempo, y además del programa internacional TOGA, la comunidad científica de los EE.UU., reunió sus efectivos para abordar un programa productivo en colaboración, denominado T-POP (TOGA - Programa de Predicción), que versaba específicamente sobre el problema de la predicción (Sarachik, 1991).

La Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de los EE.UU. está ahora involucrada en un amplio programa multinacional sobre la predicción climática de estacional a

atmósfera, en el Pacífico tropical. En su opinión, el fenómeno no se podría entender considerando cada fluido por separado, sino que dependía intrínsecamente de su interacción dinámica. Una teoría sólida describiría con precisión los cambios en la temperatura de la superficie del mar (TSM) debidos al forzamiento del viento a gran escala, lo que a su vez produciría anomalías en los campos del viento. La atmósfera actúa mecánicamente sobre los océanos tropicales, redistribuyendo las anomalías de la superficie del mar, lo que, a su vez, fuera simultáneamente una circulación atmosférica anómala mediante los flujos de calor (TSM, evaporación, procesos convectivos: es decir, termodinámicamente), modificando de esta manera los vientos en capas bajas. Este mecanismo de retroalimentación, podría, en ciertas condiciones, producir una inestabilidad en el sistema acoplado, siendo el ENOS la manifestación de esta inestabilidad.

El ENOS se desarrolla en ciclos de tres a cuatro años. Su tiempo de repetición varía entre los tres y los siete años, con intervalos irregulares entremezclados y con episodios débiles o incluso sin ellos. Las teorías analíticas (Schopf y Suárez, 1988), los modelos estadísticos (Barns-

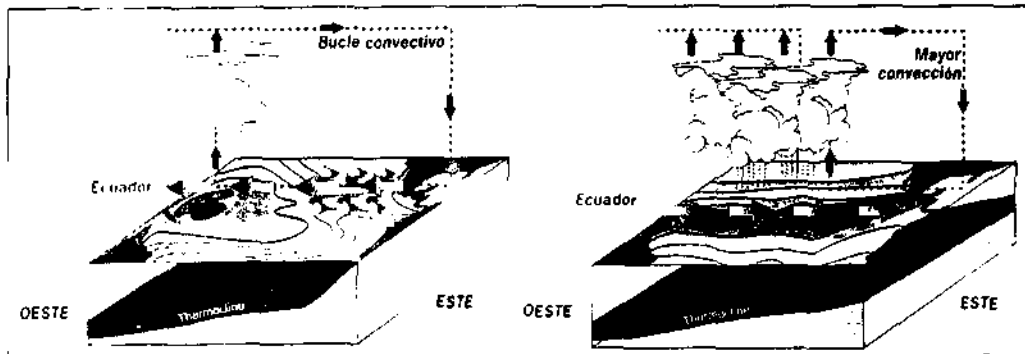


Figura 1 — Una representación en tres dimensiones de los componentes oceánico y atmosférico que actúan conjuntamente en el Pacífico durante un año climático normal (izquierda) y bajo las condiciones que prevalecen durante un episodio de El Niño-Oscilación del Sur (derecha). Los vientos alisios se retajan durante una fase cálida del ENOS, permitiendo la aparición de aguas anormalmente cálidas en el Pacífico oriental, inhibiendo el afloramiento de las profundas, y desplazando las zonas convectivas hacia las costas de América del Sur. (Contexto de la NOAA/OGP)

interanual, formado por cuatro elementos fundamentales: la modelización y la predicción; los procesos y los estudios empíricos; las observaciones mundiales; y la evaluación y las aplicaciones de las predicciones.

### El fenómeno ENOS

Jakob Bjerknes (1969) adoptó la idea de que el ENOS era una manifestación conjunta de los fluidos del océano y de la atmósfera, en una evolución combinada a través de su acoplamiento en la interfaz entre la capa superior del océano y su

atmósfera, en el Pacífico tropical. En su opinión, el fenómeno no se podría entender considerando cada fluido por separado, sino que dependía intrínsecamente de su interacción dinámica. Una teoría sólida describiría con precisión los cambios en la temperatura de la superficie del mar (TSM) debidos al forzamiento del viento a gran escala, lo que a su vez produciría anomalías en los campos del viento. La atmósfera actúa mecánicamente sobre los océanos tropicales, redistribuyendo las anomalías de la superficie del mar, lo que, a su vez, fuera simultáneamente una circulación atmosférica anómala mediante los flujos de calor (TSM, evaporación, procesos convectivos: es decir, termodinámicamente), modificando de esta manera los vientos en capas bajas. Este mecanismo de retroalimentación, podría, en ciertas condiciones, producir una inestabilidad en el sistema acoplado, siendo el ENOS la manifestación de esta inestabilidad.

El ENOS se desarrolla en ciclos de tres a cuatro años. Su tiempo de repetición varía entre los tres y los siete años, con intervalos irregulares entremezclados y con episodios débiles o incluso sin ellos. Las teorías analíticas (Schopf y Suárez, 1988), los modelos estadísticos (Barns-

ton y Ropelewski, 1992), así como las simulaciones con modelos (Cane y col., 1986; Kerr, 1992; Barnett y col., 1994) producen resultados realistas a las escalas espacial y cronológica del fenómeno observado, ya que el ENOS sólo aparece en el océano Pacífico y tiene una escala cronológica característica para su desarrollo. La figura 1, ofrece una representación gráfica del sistema acoplado océano-atmósfera en un año normal, y de las condiciones que prevalecen durante un episodio del ENOS (Philander, 1992).

Se han formulado muchos índices para medir la intensidad del ENOS. El Índice de Oscilación del Sur (IOS) refleja la diferencia de presión entre dos estaciones clave (Darwin y Tahiti), que están directamente afectadas por el desplazamiento de la convección asociada a los cambios en la TSM en las zonas oriental y occidental del Pacífico tropical. Otro índice, la temperatura Niño-3, da la intensidad de las TSM medias en la zona comprendida entre las latitudes de 5°N y 5°S y las longitudes de 90° y 150°W. El primer índice, el IOS, mide la intensidad de la Oscilación del Sur, la componente atmosférica del ENOS, mientras que el segundo, la temperatura Niño-3, mide la intensidad de El Niño, su componente oceánica.

Sin embargo, se debe considerar que las variaciones estacionales a interanuales del clima tropical son una respuesta directa a los cambios en las condiciones del límite inferior de la TSM en todos los océanos (no sólo en el Pacífico), en los hielos y en la capa de nieve, y en la humedad del suelo. En consecuencia, a escala regional, los continentes bañados por los

océanos Atlántico e Índico se hallan bajo la influencia directa de otros forzamientos climáticos, a pesar o además, de la existencia de un episodio ENOS. Este es el caso del África tropical y del noreste de América del Sur, regiones que experimentan sequías recurrentes e inundaciones devastadoras algunos años.

#### Impactos a escala mundial

El ENOS es la forma predominante de la variabilidad climática interanual a escala planetaria. Su influencia es mundial, asociada con el desplazamiento de la circulación tropical a gran escala (es decir, las células de Walker y Hadley). Como demostraron Ropelewski y Halpert (1987), varias zonas de los trópicos resultan directamente afectadas por las sequías o por condiciones húmedas vinculadas a la ocurrencia de la fase cálida del ENOS (fase de El Niño en que las anomalías de la TSM en la zona Niño-3 son positivas) y al contrario para la fase fría (fase de La Niña, como se denomina cuando las anomalías de la TSM en la zona Niño-3 son más frías).

TABLA I  
Efectos mundiales del ENOS de 1982-1983  
(Fuente: The New York Times, 2 de agosto de 1983)

Lugar	Fenómenos	Víctimas	Daños (\$ E.E.U.U.)
EE.UU.			
1. Montañas y Estados del Pacífico	Temporales	45 muertos	1 100 millones
2. Estados del Golfo	Inundaciones	50 muertos	1 100 millones
3. Hawái	Huracanes	1 muerto	230 millones
4. Nordeste de EE.UU.	Temporales	66 muertos	—
5. Cuba	Inundaciones	15 muertos	170 millones
6. México-América Central	Sequías	—	600 millones
7. Ecuador-norte de Perú	Inundaciones	600 muertos	650 millones
8. Sur de Perú-oeste de Bolivia	Sequías	—	240 millones
9. Sur de Brasil, norte de Argentina, este de Paraguay	Inundaciones	170 muertos, 600 000 evacuados	3 000 millones
10. Bolivia	Inundaciones	50 muertos, 26 000 personas sin hogar	300 millones
11. Tahití	Huracanes	1 muerto	50 millones
12. Australia	Sequías, incendios	71 muertos, 8 000 personas sin hogar	2 500 millones
13. Indonesia	Sequías	340 muertos	500 millones
14. Filipinas	Sequías	—	450 millones
15. Sur de China	Lluvias	600 muertos	600 millones
16. Sur de India, Sri Lanka	Sequías	—	150 millones
17. Oriente Medio, sobre todo Líbano	Frío. Nieve	65 muertos	50 millones
18. África del Sur	Sequías	Enfermedades, hambre	1 000 millones
19. Península Ibérica, norte de África	Sequías	—	200 millones
20. Europa occidental	Inundaciones	25 muertos	200 millones

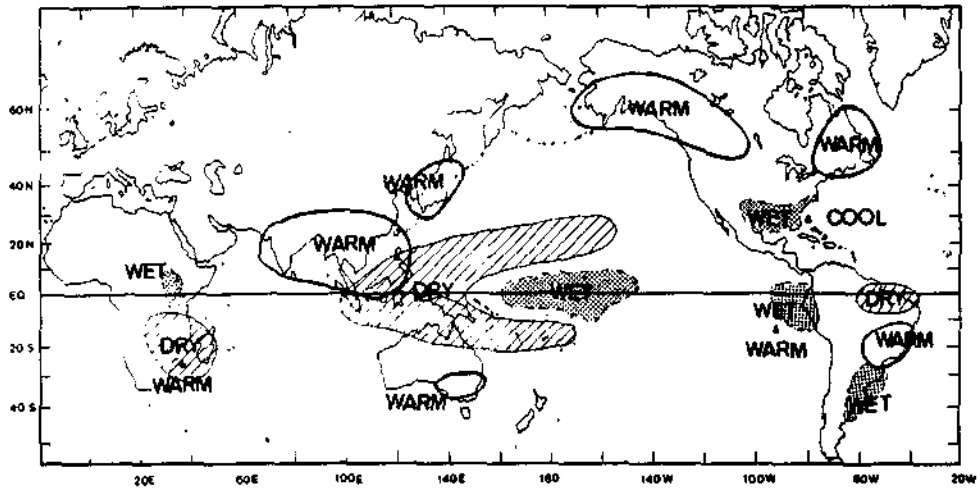


Figura 2 — Impactos mundiales durante un año ENOS. En el cinturón tropical, la influencia se nota, sobre todo, en el desplazamiento de la precipitación, con intensas sequías en muchas zonas de África, de América del Sur, de Australia, de Indonesia, etc. En algunas zonas también aparecen anomalías de la temperatura. La señal extratropical es muy variable y necesita conocerse mejor. (Fuente: Ropelewski y colaboradores en el Centro de Análisis del Clima del CMN de la NOAA)

La tabla I, publicada por *The New York Times*, muestra las zonas con mayor impacto, principalmente sobre los trópicos, durante el episodio ENOS de 1982-1983. Las pérdidas totales se estiman en cerca de 13 mil millones de dólares de los EE.UU. Se han atribuido a este llamado episodio ENOS del siglo, el hambre en África, gran número de muertos en Brasil, China, Ecuador, Indonesia y Perú, y cientos de personas que quedaron sin hogar en muchos países de América del Sur (véase Canby, 1984).

Como se indica en la figura 2, América del Sur experimenta los impactos de la precipitación anómala en tres regiones (el oeste de los Andes, el nordeste y el sudoeste del continente). En Australia, disminuye la precipitación en la parte septentrional durante los episodios cálidos del ENOS, mientras que África se halla bajo su influencia en el sureste y en la zona central ecuatorial. La zona continental de los EE.UU., experimenta los impactos del ENOS, en lo referente a la precipitación, en los Estados del Golfo, mientras que las zonas del nordeste y del noroeste se ven afectadas por anomalías de las temperaturas en superficie durante el invierno. Aunque la señal tropical es bastante persistente, muchas de las zonas extratropicales presentan una alta variabilidad de año a año en los impactos climáticos asociados con el ENOS, lo que impide cualquier relación estadística que traslade el ENOS a la predicción del clima.

La figura 3 presenta la fuerte relación existente entre la producción de maíz y las fluctuaciones interanuales de la precipitación de Zimbabwe (Buckland, 1993) para el periodo de 1970 a

1993, incluyendo los años con ENOS (por ejemplo, 1982/83, 1991/92). La figura 4 indica una relación inversa entre las variaciones de la precipitación de un mes a otro en Uruguay y el IOS, para los años 1988 a 1992. Los impactos en la agricultura y en las pesquerías peruanas han sido descritos por Lagos y Buizer (1992), que formularon una estrategia para utilizar positivamente en la agricultura peruana las predicciones del ENOS.

### El papel de los océanos; aspectos de la predicción

Los cambios de estacionales a interanuales en el clima tropical están causados en gran parte

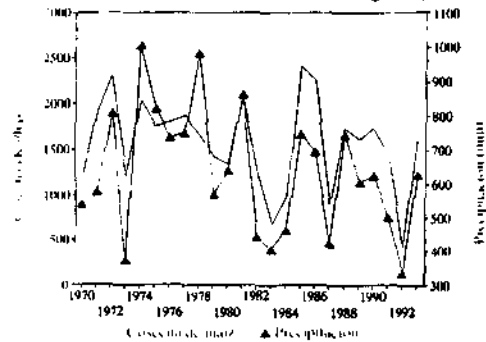


Figura 3 — Relación entre la anomalía de la precipitación anual (en mm) y la producción de maíz (kg/ha) en Zimbabwe, para el periodo 1970-1993. Los años con ENOS (1972/1973, 1982/1983, 1986/1987, 1991/1992) están asociados a un fuerte descenso de la precipitación y de la producción de maíz. (Fuente: Buckland, 1993)

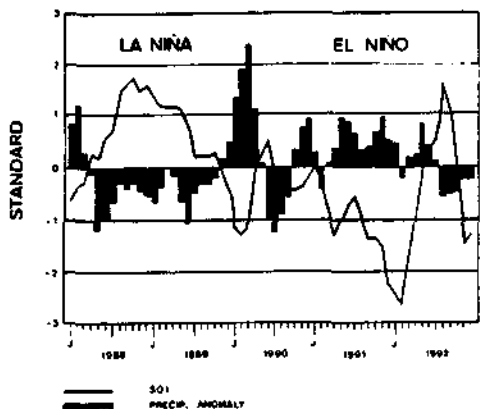


Figura 4 — Relación entre la precipitación mensual en Uruguay y el Índice de Oscilación del Sur para un año de El Niño (1991/1992) y un año de La Niña (1988/1989). Durante el año de La Niña, la precipitación total en Uruguay disminuye, al contrario de lo que ocurre en un episodio de El Niño. (Cortesía de Diego Vázquez Melo)

por cambios en los forzamientos del límite inferior, debidos a variaciones de la TSM, de la humedad del suelo y de la cubierta de nieve y hielo, y parece que tienen un alto grado de predic-

tibilidad (Shukla, 1993). Los océanos cubren el 70 por ciento de la superficie terrestre y se muestran como un importante mecanismo de forzamiento, que determina en gran parte las propiedades térmicas del clima de la Tierra. Poseen una masa total que es unas 300 veces mayor que la de la atmósfera y una capacidad térmica que es unas 1 000 veces más grande. Como el Pacífico es el océano mayor y presenta el fenómeno del ENOS, esta cuenca merece una atención especial en el problema de la predicción (se puede hallar una exposición interesante en el trabajo de Sarachik, 1992).

De acuerdo con las teorías actuales, el ENOS tiene su origen en una inestabilidad dinámica del conjunto fluido acoplado océano-atmósfera. La teoría determina correctamente sus escalas espacial y cronológica, y llega a la conclusión de que solamente el Pacífico puede albergar un fenómeno tan colosal.

En el problema de la predicción participan los conceptos más fundamentales de la dinámica de fluidos, tanto para el atmosférico como para el oceánico. Asimismo, requiere técnicas numéricas e informáticas muy avanzadas para la modelización. Está en una fase de desarrollo equivalente a la de la predicción numérica del tiempo a principios de los años 60. Algunos comparan

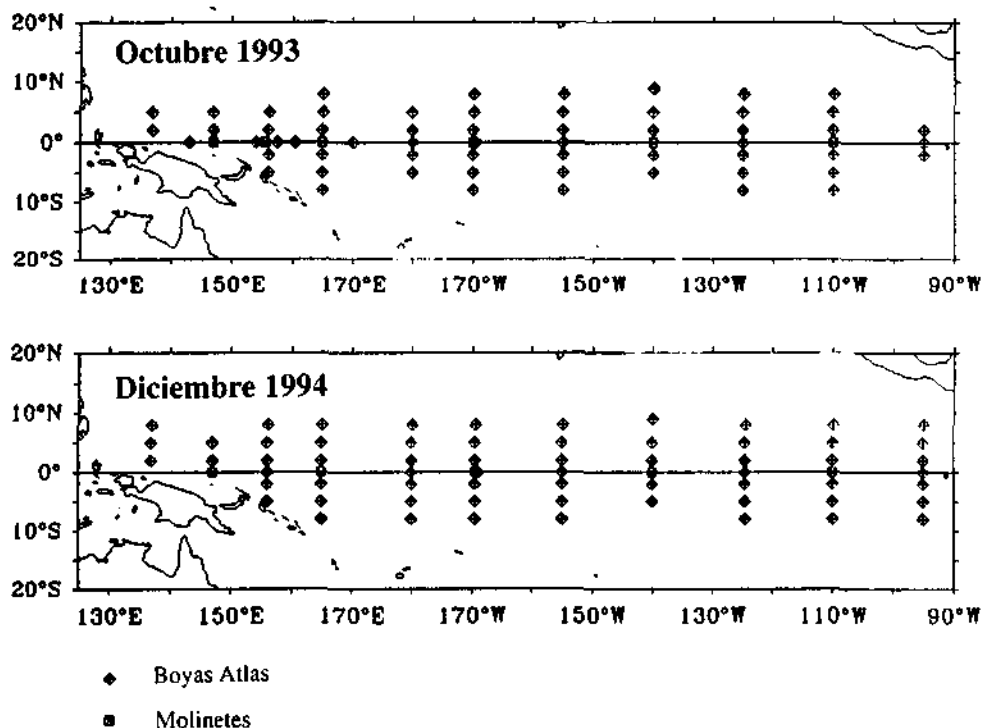


Figura 5 — El despliegue de las boyas del TOGA-TAO en el Pacífico tropical, tal como se llevó a cabo en diciembre de 1994. Se colocaron un total de 67 boyas ancladas tipo Atlas, manteniéndose mediante un acuerdo internacional entre algunos países ribereños del Pacífico. (Fuente: plan de ejecución del TOGA-TAO)

esta etapa a la de aquellos días de Charney, Von Neuman, Fjørtoft y Phillips, con la ecuación de la vorticidad barotrópica, en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, Nueva Jersey, EE.UU., durante los años 50. Afortunadamente, la tecnología informática actual está mucho más avanzada y progresa rápidamente. Por otro lado, el sistema de observación es más complejo, pues se hacen medidas no sólo de los datos atmosféricos a escala mundial, sino también de las propiedades de la capa superior del océano, al menos hasta la profundidad de la termoclina (aproximadamente 200 m). Este es un aspecto importante del problema de la predicción.

Por ejemplo, la mayoría de los esquemas de predicción del ENOS no hacen, en la actualidad, un uso total de los conjuntos completos de datos para el análisis, la inicialización y la predicción. Por ejemplo, el modelo simplificado de Cane y Zebiak sólo usa los vientos en superficie para hacer funcionar un modelo oceánico, mientras que las TSM y la información subsuperficial del océano no son necesarias para inicializar el modelo (esta es una estrategia inteligente para evitar las dificultades que presentaban las enormes zonas sin datos de los océanos tropicales, antes de que se desplegaran las boyas TOGA-TAO). Por otro lado, el complejo modelo de la circulación general (MCG) acoplado que están elaborando Ants Leetmaa y sus colaboradores en el CMN de la NOAA asimila, en su análisis y en la inicialización del modelo, los datos de los XBT, de las TOGA-TAO y las TSM obtenidas combinando la información de los satélites con medidas *in situ*. Se sospecha que el mejor rendimiento del modelo acoplado del CMN respecto del de Cane-Zebiak, en la predicción del calentamiento de principios de 1993, tras el episodio ENOS 1991/1992, puede estar básicamente relacionado con esta diferencia de datos suministrados para el análisis y la inicialización. En este contexto, el mantenimiento de un sistema operativo, como el despliegue TOGA-TAO, en los océanos tropicales del Pací-

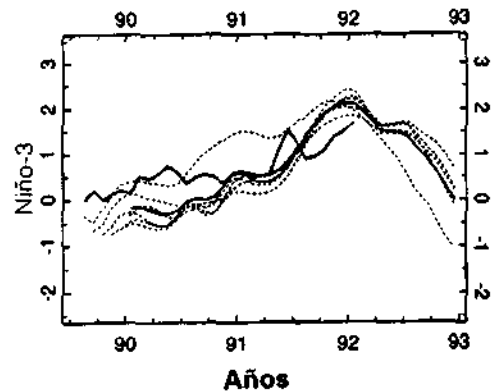


Figura 6 — Un producto de predicción (la temperatura en el Niño-3) procedente del modelo Cane-Zebiak para el ENOS 1991/1992, realizado con más de un año de antelación. (Cortesía de Mark Cane)

co (figura 5) es de importancia fundamental y se considera de la más alta prioridad para el módulo climático del Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO) y del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC).

El procedimiento de predicción requiere la realización de conjuntos, para inicializar el modelo bajo diferentes condiciones atmosféricas, con un día o una semana de anticipación, y hacer el seguimiento de la evolución cronológica de la integración. La mejor estimación del estado futuro (predicción) sería el valor medio de lo obtenido por el modelo (normalmente es necesario correr el modelo seis veces para conocer la predictibilidad de ese estado futuro).

La figura 6 muestra la predicción del modelo Cane-Zebiak de las TSM en el Niño-3 para el ENOS de 1991/1992, con un descenso a principios de 1993, mientras que la figura 7 ofrece la predicción de la distribución de las TSM para el modelo acoplado del CMN (MCGA), mostrando anomalías positivas en el Pacífico tropical para junio a agosto de 1993. En la actualidad, ambos modelos han predicho un débil episodio frío del ENOS (La Niña) para la segunda mitad de 1994 hasta principios de 1995.

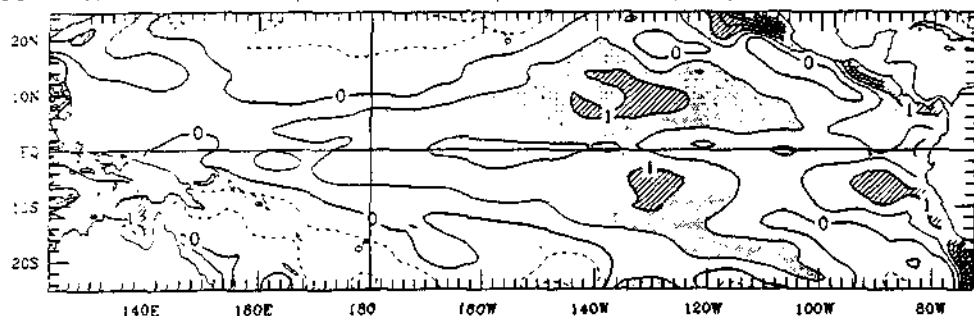


Figura 7 — Predicción de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar para junio, julio y agosto de 1993, partiendo de las condiciones iniciales de marzo de 1993, realizada con el MCG acoplado creado en el CMN por Leetmaa y sus colaboradores. (Fuente: *Asesoría ENOS de NOAA/NM/CAC*, 10 de mayo de 1993)

### Aplicaciones y desarrollo sostenible

La mayoría de las sociedades del trópico carecen de la capacidad para adaptar con rapidez sus economías a las drásticas alteraciones del clima. La capacidad para predecir muchas de las características del ENOS y el rápido progreso que se está realizando en la predicción climática estacional a interanual significan que los ejecutivos de muchos países tienen la oportunidad de anticipar las fluctuaciones del clima que están directamente relacionadas con sus actividades socioeconómicas y planear una acción futura de forma inteligente, para disminuir los impactos o incluso aprovechar una situación favorable. De nuevo, el ejemplo de Perú (Lagos y Buizer, 1991) demuestra cómo un país puede reaccionar positivamente a las variaciones interanuales del clima mediante una estrategia combinada para alentar las plantaciones de algodón o de arroz, de acuerdo con la predicción de la fase del ENOS.

Muchos países reconocen ya el valor y la necesidad de estas predicciones expertas a corto plazo y están, en mayor o menor grado, desarrollando un marco institucional para obtener el mayor provecho de ellas. En la India, las predicciones experimentales del ENOS son un dato clave para la predicción oficial de los monzones que realiza el Servicio Meteorológico en Nueva Delhi.

Desde 1987, el Servicio Meteorológico de Etiopía da asesoramiento para las campañas

agrícolas de primavera y de otoño, basándose en las predicciones del ENOS.

La Agencia Meteorológica de Japón (AMJ) ha creado una división de predicción del ENOS y emplea las predicciones para asesorar sobre las temperaturas de verano e invierno, basándose en el desplazamiento de la corriente en chorro. Por ejemplo, en mayo de 1991, utilizando como base la predicción del ENOS de 1991/1992, la AMJ predijo correctamente un verano fresco y menos soleado para 1991 y un invierno suave en 1991/1992.

La Oficina Meteorológica de Australia publica previsiones climáticas estacionales desde 1988. El éxito de estas previsiones ha llevado al Gobierno del Estado de Queensland a establecer un sistema de impactos, de control y de apoyo a la toma de decisiones para asesorar a los usuarios a nivel regional y a los agricultores.

En la zona nororiental de Brasil, donde muchas sequías intensas están asociadas al ENOS, se esperan con impaciencia las predicciones estadísticas (Hastenrath, 1990; la OMRU, 1994; Servain, 1994) y las predicciones dinámicas (Graham, 1994; Latif y Graham, 1992; Cane y col., 1986) y ambas se emplean eficazmente para reducir los impactos. La figura 8 muestra el promedio de seis predicciones de la precipitación, de marzo a mayo de 1994, para el noreste de América del Sur, con las anomalías de la TSM en febrero. Los resultados fueron obteni-

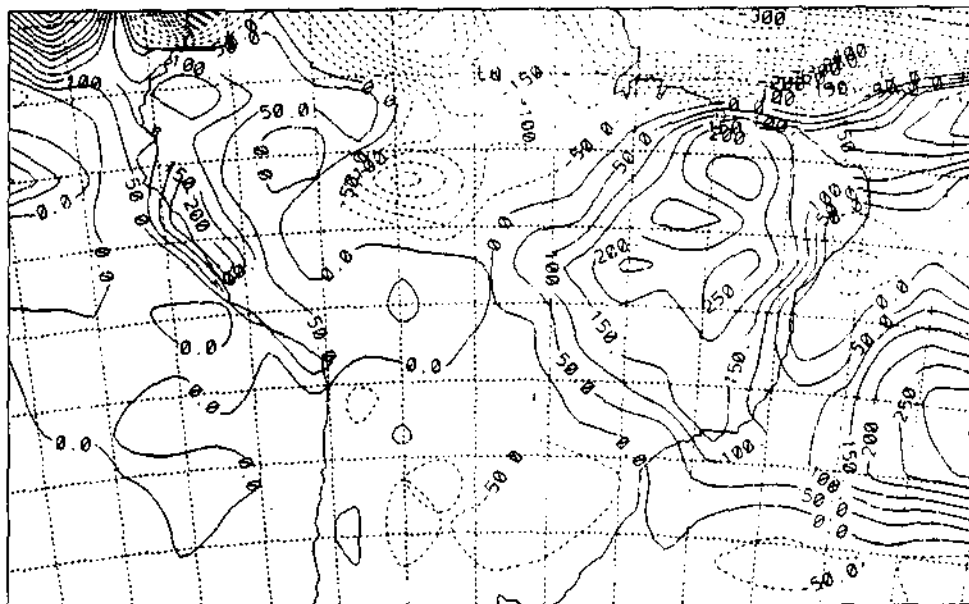


Figura 8 — Predicción de la distribución de la precipitación (en mm) en el noreste del Brasil, para el período de marzo a mayo de 1994. A partir de febrero de 1994, las condiciones iniciales de las TSM mundiales persistieron en las integraciones del modelo atmosférico. El modelo es el MPI-ECHAM3-T42, que está en funcionamiento en la Institución Scripps de Oceanografía para las actividades del proyecto piloto del IIPC (Cortesía de Nick Graham, SIO)



dos utilizando un MCG atmosférico (el modelo Max Planck ECHAM3-T42), que estaba en funcionamiento en la institución Scripps de Oceanografía como parte de las actividades de un proyecto piloto del Instituto Internacional de Investigación de la Predicción Climática (IIIPC) (véase Moura y Grupo Especial, 1992). Este tipo de predicción ofrece estimaciones directas de la precipitación y de su distribución en un área. La estación actual de las lluvias en el nordeste del Brasil está confirmando la exactitud de la predicción y se espera que la producción agrícola de 1994 esté muy por encima del promedio histórico para Ceará (Viana, comunicación privada).

Con su actuación en el sector agrícola y en el de la conservación de los recursos hídricos, el gobierno del Estado de Ceará ha demostrado que es posible evitar enormes desplazamientos de población ofreciéndole a una agricultura de subsistencia de un nivel razonable, una fórmula bien estructurada de mejorar la producción agrícola, incluyendo la selección de unas semillas para el cultivo que sean las más resistentes a la escasez de agua.

TABLA II  
Comparación de tres casos de sequía en Ceará  
(nordeste del Brasil)

Año	Precipitación (por debajo de la media)	Producción de cereal (toneladas)	(%)
1987	30%	100 000	15%
1992	27%	530 000	82%
1993	45%	250 000	39%
Media	0%	650 000	100%

Notas:

1987	No se tomó ninguna medida en función de la predicción climática
1991-1992	Se tomaron todas las medidas en función de la predicción y la vigilancia
1993	Se prosiguieron las medidas tras un segundo año de sequía

La tabla II muestra una comparación de la producción de cereales en Ceará, Brasil, en los años 1987, 1992 y 1993, tras los tres episodios del ENOS de 1986/1987, 1991/1992 y 1992/1993. No se tomó ninguna medida cuando se predijo el ENOS de 1986/1987 (Cane y col., 1986) y la cosecha fue muy pequeña (100 000 toneladas frente a las 650 000 toneladas de valor medio a largo plazo). En contraste con 1987, la información de la predicción se usó en los otros años y las actuaciones subsiguientes fueron planificadas y ejecutadas por el FUNCEME

(una fundación administrada por el Estado), consiguiéndose una importante reducción en la pérdida total de las cosechas de Ceará.

### Conclusiones y recomendaciones

En los ejemplos anteriores queda claro que debe adoptarse una estrategia bien organizada para generar una información climática exacta y socioeconómicamente adecuada, y para difundir los productos de esta predicción. Los usuarios adaptarán la información climática, añadiendo valores económicos y sociales y emplearán la información completa para el pertinente proceso de decisión. Naturalmente, para que este proceso sea eficaz, se debe enmarcar en una estrategia a múltiples escalas cronológicas, combinando las predicciones del clima y del tiempo seguidas por una vigilancia de la estación de las lluvias. La lección aprendida es que no solamente se precisan predicciones exactas, sino que es más importante la existencia de una voluntad política para utilizar la información disponible con el fin de recoger los beneficios.

La capacidad para realizar predicciones exactas de las variaciones climáticas a estas escalas cronológicas, junto con los indicios de un progreso continuado en modelización, proporcionan a los países de todo el mundo, especialmente a los situados en el cinturón tropical, una oportunidad única de aplicar mecanismos adecuados y compromisos institucionales para hacer un uso completo y cotidiano de este conocimiento. Estos tremendos logros científicos y tecnológicos en la modelización del clima, la observación y la predicción para una variedad de fines sociales y económicos, nos llevan desde los días en que éramos víctimas pasivas de las variaciones naturales del clima hasta una nueva edad de anticipación activa con una sólida base científica, ofreciendo de esta manera una respuesta racional en los procesos de toma de decisiones.

Las predicciones competentes tienen, ciertamente, efectos positivos en la calidad de vida en muchas zonas: aumento de la producción de alimentos en la agricultura (selección de semillas y su distribución) y la pesca, la gestión de bosques y el control de ríos (planes de restricción del agua, prevención de riadas), la producción y distribución de energía hidroeléctrica. Sin embargo, se precisan algunos acuerdos institucionales nuevos con el fin de sacar el máximo provecho a la creciente capacidad de predicción.

A este respecto, parece crucial el concepto de Centros de Aplicación, propuesto en el documento del IIIPC (Moura y Grupo Especial, 1992) y en el recién creado (abril de 1994) Programa de la NOAA sobre la Predicción Climática de Estacional a Interanual. Como órgano regional, los Centros de Aplicación ofrecen a los países si-

tuados en la misma zona de fluctuación climática (ver figura 2) la posibilidad de sumarse a una empresa científica, intercambiando conocimientos, recogiendo datos regionales y adaptando los procesos de tomas de decisiones para enfrentarse a los impactos adversos de las fluctuaciones climáticas de estacionales a interanuales, y proporcionando, así, un elemento importante para alcanzar un desarrollo sostenible que mitigue el hambre y las migraciones masivas, en años de intensas sequías, de muchos lugares de África, de América del Sur y de Asia.

Aunque los temas científicos importantes relativos al problema de la predicción del clima (tales como: (a) ¿por qué parece existir una dependencia estacional de la predicción, la denominada barrera primavera-mayo?; (b) ¿por qué desde 1972 el ciclo del ENOS ha sido diferente de los anteriores?; (c) ¿por qué el episodio del ENOS de 1993 se ha bloqueado durante tanto tiempo en la fase cálida?; (d) ¿las sequías y el ENOS van a ser más frecuentes en un entorno mundial más cálido?) permanecen a la espera de ser adecuadamente contestados, el conocimiento actual sobre la modelización y la predicción se puede y se debe usar, por supuesto, con las debidas precauciones, para que se beneficien los países afectados.

Esto ciertamente reclama una verdadera colaboración entre los países en desarrollo y los desarrollados y debe ayudar a allanar el camino para la colaboración en otros aspectos fundamentales, tales como los problemas que el planeta puede tener para enfrentarse al despertar del cambio climático mundial. Muchas de las herramientas elaboradas para el problema de la predicción climática estacional a interanual (estrategias de observación y de modelización, aplicaciones y evaluaciones; colaboración regional, proceso de toma de decisiones y actuaciones consiguientes) deberán tener un uso similar para escalas cronológicas más largas: de decenios o de siglos.

## Referencias

- BARNETT, T.P., L. BENGTSSON, K. ARPE, M. FLUGEL, N. GRAHAM, J. RITCHIE, U. SCHULZWEIDA y M. TYREE, 1994: Forecasting global ENSO-related climate anomalies. *Tellus* (in press).
- BARSTON, A. G. y C.F. ROPELEWSKI, 1992: Prediction of ENSO Episodes using canonical correlation analysis. *Jour. Climate*, **5** (11), 1 316-1 345.
- BUCKLAND, R.W., 1993: Implications of climate variability for food security in the southern African development community. En: *ENSO/Famine Early Warning System Workshop*, Budapest, octubre.
- GRAHAM, N., 1993: Experimental predictions of wet season precipitation in Northeastern Brazil. En: *Proceedings of the Climate Diagnostics Workshop*, Boulder, CO.
- BJERNES, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163-172.
- CANBY, T.Y., 1984: *El Niño III* wind. *National Geographic*, **165** (2), 144-183.
- CANE, M.A. y S.E. ZEBIAK, 1985: A Theory for El Niño and the Southern Oscillation. *Science*, **228**, 1 085-1 087.
- CANE, M.A., S.E. ZEBIAK y S.C. DOLAN, 1986: Experimental forecast of El Niño. *Nature*, **321**, 827-832.
- HASTENRATH, S., 1990: Tropical climate prediction: A progress report, 1985-1990. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 819-825.
- HASTENRATH, S. y L. HELLER, 1977: Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, **103**, 77-92.
- HAYES, S.P., L.J. MANGUM, J. PICAUT, A. SUMI y K. TAKEUCHI, 1991: TOGA-TAO: A moored array of real-time measurements in the tropical Pacific Ocean. *Bull. Amer. Soc.*, **72** (3), 339-347.
- Ji, M., A. KUMAR y A. LEETMAA, 1994: A multi-season climate forecast system at the National Meteorological Center. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (in press).
- KLHR, R.A., 1992: A successful forecast of an El Niño winter. *Science*, **255**, 402.
- LAGOS, P. y J. BUIZER, 1991: El Niño and Peru: a nation's response to interannual climate variability. En: *Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventive Measures*, S.K. MAJUMDAR, G.S. FORBES, E.W. MILLER and R.F. SCHMALTZ, Pennsylvania Academy of Science, 223-238.
- LARF, M. y N.E. GRAHAM, 1992: How much predictive skill is contained in the thermal structure of an OGCM? *Jour. Phys. Oceanogr.*, **22**, 951-962.
- MOURA, A.D. y TASK GROUP, 1992: *International Research Institute for Climate Prediction: A Proposal* (prepared in response to a request by the Intergovernmental TOGA Board), available at NOAA/OGP, 64 pp.
- PHILANDER, S.G., 1992: El Niño. *Oceanus*, **35** (2), 56-61.
- ROPELEWSKI, C.F., 1990: Predicting El Niño events. *Nature*, **356**, 476-477.
- ROPELEWSKI, C.F. y M. S. HALPERN, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1 606-1 626.
- SARACHIK, E.S. (WG chairman), 1991: Initial implementation plan for the US TOGA Programme on Seasonal to Interannual Prediction (T-POP). En: *Report of the Tenth Session of the TOGA Scientific Steering Group*, WCRP-63.
- SARACHIK, E.S., 1992: Climate prediction and the ocean. *Oceanus*, **35** (2), 66-73.
- SCHOPF, P.S. y M. J. SUAREZ, 1988: Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model. *Jour. Atmos. Sci.*, **45**, 549-566.
- SERVANI, J., 1994: *Northeast Brazil Forecast with Atlantic SST* (experimental forecast for the TOGA community).
- SHUKLA, J. (Ed.), 1993: Prediction of interannual climate variations. *NATO ASI Series in Global Environmental Change*, **6**, 265 pp.
- UKMO, 1994: *Preliminary forecast for North East Brazil*.
- WMO, 1985: *Scientific Plan for the Tropical Ocean and Global Atmosphere Programme*. WCRP Publications Series No. 3, WMO/TD 64, Geneva, 146 pp.



# ENSO Prediction Papers

Adams, R.M., K.J. Bryant, B.A. McCarl, D.M. Legler, J. O'Brien, A. Solow. 1994: The value of improved ENSO forecasts: an example from U.S. agriculture. *Science*, submitted.

Barnett, T.P., and K. Hasselmann, 1979: Techniques of linear prediction, with applications to oceanic and atmospheric fields in the tropical Pacific. *Reviews of Geophys. and Space Phys.*, 17, 949-968.

Barnett, T.P., 1984: Statistical relations between ocean/atmosphere fluctuations in the tropical Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 1043-1058.

Barnett, T.P., 1984: Prediction of the El Niño of 1982-83. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1403-1407.

Barnett, T.P., N. Graham, M. Cane, S. Zebiak, S. Dolan, J. O'Brien, and D. Legler, 1988a: On the prediction of the El Niño of 1986-1987. *Science*, 241, 192-196.

Barnett, T.P., M. Latif, N. Graham, M. Flügel, S. Pazan, and W. White, 1992: ENSO and ENSO related predictability. Part I: Prediction of equatorial Pacific sea surface temperature with a hybrid coupled ocean-atmosphere model. *J. Climate*, 6, 1545-1566.

Barnett, T.P., L. Bengtsson, K. Arpe, M. Flügel, N. Graham, J. Ritchie, U. Schulzweida, and M. Tyree, 1994: Forecasting global ENSO-related climate anomalies. *Tellus*, in press.

Barnett, T.P., 1994: Monte Carlo climate forecasting. *J. Climate*, (submitted)

Barnston, A.G., and C.F. Ropelewski, 1992: Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *J. Climate*, 5, 1316-1345.

Bengtsson, L., U. Schlese, E. Roeckner, M. Latif, T.P. Barnett, and N. Graham, 1993: A two-tiered approach to climate forecasting. *Science*, 261, 1026-1029.

Blumenthal, M.B., 1991: Predictability of a coupled ocean-atmosphere model. *J. Climate*, 4, 766-784.

Blumenthal, M.B., Y. Xue and M.A. Cane, 1992: "Predictability of an ocean/atmosphere model using adjoint model analysis." In Proceeding of the Workshop on Predictability, 13-15 November 1991. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

Brankovic, C., T.N. Palmer, and L. Ferranti, 1994: Predictability of seasonal at-

mospheric variations. *J. Climate*, 7, 217-237.

Cane, M.A., and S.E. Zebiak. 1989: Dynamical forecasts of the 1986-1987 ENSO with a coupled model. In Proceeding of the thirteenth annual Climate Diagnostics Workshop. U.S. Department of Commerce, March 1989, 500+xii pp.

Cane, M., and S.E. Zebiak. 1987: Prediction of El Niño events using a physical model. In *Atmospheric and Oceanic Variability*, H. Cattle, ed., Royal Meteorological Society Press, 153-182.

Cane, M.A., S.E. Zebiak and S.C. Dolan, 1986: Experimental forecasts of El Niño. *Nature*, 321, 827-832.

Cane, M.A., 1991: Forecasting El Niño with a geophysical model. In *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*, M.H. Glantz, R.W. Katz, and N. Nicholls, eds. Cambridge University Press, 345-369.

Cane, M.A. and E.S. Sarachik. Chairpersons of the Provisional Working Group, 1991: Prospectus for a TOGA Program on seasonal-to-interannual prediction. NOAA Climate and Global change Report No. 4, UCAR publications, 46pp.

Cane, M.A., 1993: Tropical Pacific ENSO models: ENSO as a mode of the coupled system in *Climate System Modeling*, K. Trenberth, ed., Cambridge Univ. Press. pp. 583-614.

Chu, P.-S., and R.W. Katz, 1987: Measures of predictability with applications to the southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1542.

Davey, M.K., D.L.T. Anderson, and S. Lawrence. 1993: A simulation of seasonality in ENSO forecast skill. Hadley Centre Climate Research Technical Note CRTN 38.

Davey, M.K., and S. Ineson. 1993: Simulation and hindcasts of tropical Pacific Ocean interannual variability. *Tellus*, to appear.

Fraedrich, K, 1988: El Niño/Southern Oscillation Predictability. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1001-1012.

Gent, P.R., and J.J. Tribbia. 1992: Simulation and predictability in a coupled TOGA model. *J. Climate*, 6, 1843-1858.

Ghil, M. Kimoto, and J.D. Neelin. 1991: Nonlinear Dynamics and Predictability in Atmospheric Sciences. *Reviews of Geophysics*, Supplement, 46-55.

Ghil, M., and C.R. Mechoso. 1992: Data Assimilation and predictability studies for the coupled atmosphere-ocean system. *Oceanography*, 5, 19-24.

- Glantz, 1994: Forecasting El Niño: Science's gift to the 21st Century. *Ecodecision*, April 94 issue.
- Goswami, B. and J. Shukla, 1991: Predictability of a coupled ocean-atmosphere model. *J. Climate*, 4, 3-22.
- Graham, N.E., T.P. Barnett, and M. Latif. 1992: Considerations of the Predictability of ENSO with a Low-Order Coupled Model. *TOGA Notes*. 11-15, 1992.
- Graham, N., and Barnett, T.P., 1994: ENSO and ENSO related predictability. Part II: Northern hemisphere 700 millibar height predictions based on a hybrid coupled ENSO model. *J. Climate*, submitted.
- Graham, N., 1994: Experimental predictions of wet season precipitation in Northeastern Brazil. Proceedings of the Climate Diagnostics Workshop of 1993.
- Hasselmann, K., and T.P. Barnett, 1981: Techniques of linear prediction for systems with periodic statistics. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2275-2283.
- Hastenrath, S., 1990: Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. *J. Climate*, 3, 893-904.
- Hastenrath, S., 1990: Tropical climate prediction: A progress report, 1985-1990. *Bull. Am. Met. Soc.*, 71, 819-825.
- Inoue, M., and J.J. O'Brien. 1984: A forecasting model for the onset of a major El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 2326-2337.
- Inoue, M., and J.J. O'Brien. 1986: Predictability of the decay of the 1982/83 El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 967-972.
- Ji, M., A. Kumar, and A. Leetmaa. 1994a: A Multi-season climate forecast system at the National Meteorological Center. *Bull. of Amer. Meteor. Soc.* (in press, Apr. 1994)
- Ji, M., A. Kumar, and A. Leetmaa, 1994b: An experimental coupled forecast system at the national meteorological center: some early results. *Tellus*, (in press 1994)
- Ji, M., A. Kumar, A. Leetmaa, and M.P. Hoerling, 1993: Coupled ocean-atmosphere climate forecast system for ENSO predictions. Proceedings of the Workshop on Numerical Extended Range Weather Prediction. Airlie, Virginia. 141-144.
- Kepenne, C.L., and M. Ghil. 1992: Adaptive filtering and the southern Oscillation Index. *J. Geophys. Res.*, 97, 20,449-20,454.
- Kleeman, R., M. Latif, and M. Flügel, 1992: A hybrid coupled tropical atmosphere ocean model: sensitivities and hindcast skill. MPI Report No. 76.

- Kleeman, R., 1993: On the dependence of hindcast skill on ocean thermodynamics in a coupled ocean-atmosphere model. *J Climate*, **6**, 2012-2033.
- Lagos, P., and J. Buizer, 1992: El Niño and Peru: A nation's response to interannual climate variability. In *Natural and Technological Disasters: Causes, Effects, and Preventative Measures*. Edited by S.K. Majumdar, G.S. Forbes, E.W. Miller, and R.F. Schmaltz. The Pennsylvania Academy of Science, 223-238.
- Latif, M., M. Flügel, 1991: An investigation of short-range climate predictability in the tropical Pacific. *J. Geophys. Res.*, **96**, 2661-2673.
- Latif, M., and N.E. Graham. 1992: How much predictive skill is contained in the thermal structure of an OGCM? MPI Report No. 63 and *J. Phys. Oceanogr.*, **22**, 951-962.
- Latif, M., A. Sterl, E. Maier-Reimer and M.M. Junge, 1992: Structure and predictability of the El Niño/Southern Oscillation phenomenon in a coupled ocean-atmosphere general circulation model. *J. Climate*, **6**, 700-708.
- Latif, M., T.P. Barnett, M.A. Cane, M. Flugel, N.E. Graham, H. von Storch, J.-S. Xu, and S.E. Zebiak, 1994: A review of ENSO prediction studies. *Climate Dynamics*, in press.
- McPherson, R.D., 1994: The National Centers for Environmental Prediction: Operational Climate, Ocean, and Weather Prediction for the 21st Century. *Bull. Am. Met. Soc.*, **75**, 363-373.
- Miyakoda, K., A. Rosati, and R. Gudgel, 1992: Toward the GCM seasonal forecasts. CAS Group of Rappateurs on medium and long range prediction research. Toulouse, 10-14 February, 1992.
- Namias, J., and D.R. Cayan. 1984: El Niño, implications for forecasting. *Oceanus*, **27**, 41-45.
- Nicholls, N., 1988: El Niño-Southern Oscillation impact prediction. *Bull. Am. Met. Soc.*, **69**, 173-176.
- Palmer, T.N., and D.L.T. Anderson. 1993: Scientific assessment of the prospects for seasonal forecasting: a European perspective. ECMWF Research Dept. Technical report No. 70. 34pp + Appendices.
- Palmer, T.N., and D.L.T. Anderson. 1994: The prospect for seasonal forecasting. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, to appear.
- Penland, C., and T. Magorian. 1993: Prediction of Niño 3 sea surface temperature using linear inverse modeling. *J. Climate*, **6**, 1067-1076.

Philander, S.G.H., and N.C. Lau, 1988: Predictability of El Niño. In *Physically-Based Modelling and Simulation of Climate and Climate Change-Part II.* M.E. Schlesinger, ed. Kluwer Academic Publishers, 967-982.

Ropelewski, C.F., 1992: Predicting El Niño events. *Nature*, 356, 476-477.

Sarachik, E.S., 1990: Predictability of ENSO. In *Ocean Climate Interaction.* M.E. Schlesinger, ed., Kluwer Academic Publishers.

Shukla, J., editor, 1993: *Prediction of Interannual Climate Variations.* NATO ASI Series in Global Environmental Change #6, 265pp.

Simpson, H.J., M.A. Cane, S.K. Lin, S.E. Zebiak, and A.L. Herczeg, 1993: Forecasting annual discharge of River Murray, Australia. from a geophysical model of ENSO. *J. Climate*, 6, 386-390.

Simpson, H.J., M.A. Cane, A.L. Herczeg, S.E. Zebiak and J.H. Simpson. 1993: Annual River Discharge in SE Australia Related to ENSO Forecasts of Sea Surface Temperatures. *Water Resour. Res.* In press.

Webster, P.J., 1993: The annual cycle and the predictability of the tropical coupled ocean-atmosphere system.

White, W.B., S.E. Pazan, and M. Inoue, 1987: Hindcast/forecast of ENSO events based on the redistribution of observed and model heat content in the western tropical Pacific, 1964-86. *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 264-280.

Wu, D.-H., D.L.T. Anderson, and M.K. Davey, 1993: ENSO prediction experiments using a simple ocean-atmosphere model. Hadley Centre Climate Research Technical Note CRTN 39.

Wuethrich, B., 1994: Predicting future climate. *EOS*, 75, 81-82.

Xu, J.-S., and H. von Storch, 1990: Principal oscillation pattern: Prediction of the state of ENSO. *J. Climate*, 3, 1316-1329.

Xue, Y., M.A. Cane, S.E. Zebiak and B. Blumenthal, 1993: On the Prediction of ENSO: a Study with a Low Order Markov Model: Submitted *Tellus*.

Zebiak, S.E., 1989: On the 30-60 day oscillation and the prediction of El Niño. *J. Climate*, 2, 1381-1387.