

EL SISTEMA CLIMATICO MUNDIAL EN 1986

Durante el año que se analiza, el sistema climático mundial se caracterizó por una variabilidad y unas anomalías que, aunque significativas, o bien no persistieron durante largos periodos cronológicas o no fueron grandes en extensión (p.e. abarcando la mayor parte de un continente). El período comprendido entre septiembre de 1984 y mayo de 1986 se considera con detalle en el último *Global Climate System Review* editado por la Secretaría de la OMM, en abril de 1987.

Los trópicos y los subtropicos

Las características principales del sistema climático tropical y subtropical fueron:

- Anomalías negativas de la temperatura de la superficie del agua del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial durante la mayor parte de 1985; anomalías positivas en las zonas orientales desde diciembre de 1985 hasta marzo de 1986 en que desaparecieron. Un segundo calentamiento a partir de septiembre de 1986 trajo como consecuencia el que, hacia finales de año, se produjese un episodio *El Niño*/Oscilación del Sur (ENOS) entre ligero y moderado;
- Los valores suavizados del Índice de Oscilación del Sur (IOS) (*Boletín de la OMM 35* (4) pág. 337) permanecieron alrededor de lo normal (cero) durante la mayor parte del año, pero se hicieron negativos al final; en meses individuales se apreció una variabilidad de la desviación estándar de más o menos uno;
- Las anomalías positivas de la TSM en el Atlántico tropical (alrededor de 0,5 a 1,0K) que se registraron durante la mayor parte de 1985 comenzaron a disminuir durante 1986, especialmente en el sur;
- El contenido de calor y volumen de la parte superior del Pacífico ecuatorial mostraron un crecimiento gradual durante la mayor parte de 1986;
- Un aumento de la precipitación saheliana y un alivio en la prolongada sequía en el sur de África, aunque la precipitación aún estuvo por debajo de lo normal en ambas regiones (durante la temporada 1985/86 fue el 89% de lo normal en el Sahel y el 70% en el sur de África), pero en general la precipitación fue buena en el sur de África en octubre y noviembre de 1986.
- La TSM diferencial entre los hemisferios norte y sur muestra una relación con la precipitación en el Sahel;
- Un monzón de verano en 1986 más débil de lo normal sobre la India, también unas lluvias estacionales más débiles de lo normal sobre el norte de China (junio y julio) y condiciones secas en Australia oriental (desde febrero hasta junio inclusive);
- Las oscilaciones intraestacionales de 30 a 60 días (*Boletín de la OMM 35* (4) pág. 339) estuvieron bien definidas en octubre/noviembre de 1985, abril/mayo y octubre/noviembre de 1986;
- Otras características fueron: la sequía en el sur de Brasil, Paraguay y noroeste de Argentina (segundo semestre de 1985 hasta principios de 1986); la sequía en el sureste

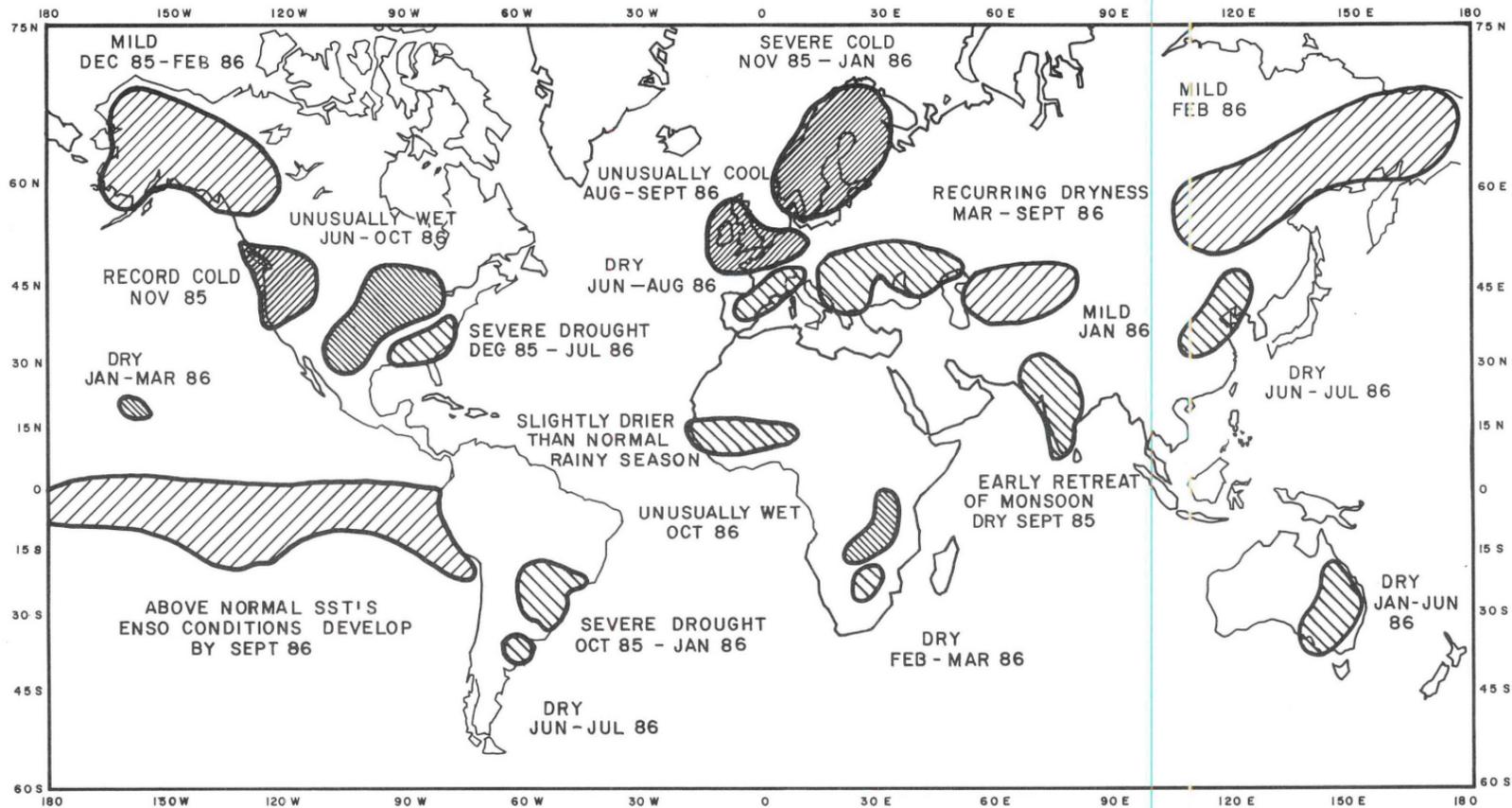


Figura 1 - Las principales anomalías climáticas desde noviembre de 1985 hasta octubre de 1986 inclusive.

de los EE.UU. (diciembre de 1985 hasta julio de 1986); tiempo seco en el sureste de Europa (marzo a junio y agosto/septiembre); invierno frío en Europa (las temperaturas de enero fueron de 12 a 15K inferiores a las normales); de nuevo tiempo seco en Brasil y Paraguay (octubre/noviembre de 1986).

Las anomalías se muestran esquemáticamente en la *Figura 1*.

El Niño/Oscilación del Sur

Durante la primera parte de 1986 se observaron signos de un calentamiento en el Pacífico ecuatorial con una anomalía positiva de la TSM (1,0-1,5K) en las zonas orientales en diciembre de 1985, que persistió durante unos meses y empezó a extenderse hacia el Pacífico central. El IOS fue positivo en diciembre de 1985 y enero de 1986 pero se volvió negativo (-1,3) en febrero. Algunos otros indicadores también apuntaban hacia la fase incipiente del ENOS, a principio de 1986, tales como una emisión de radiación de onda larga que supuso una precipitación ligeramente superior a la normal sobre el Pacífico central y oriental.

Sin embargo, ni la estructura térmica submarina del océano, ni la pendiente del nivel del mar a lo largo del Pacífico ecuatorial, ni incluso el volumen o contenido de calor del océano superior (*Figura 2*) parecieron estar lejos de lo normal en febrero, y en marzo/abril el calentamiento del Pacífico central y oriental desapareció de forma bastante brusca, observándose unos efectos muy pequeños sobre las costas occidentales de América del Sur. No obstante, hubo algunos informes de episodios asociados con el ENOS procedentes de las islas Galápagos. Una expedición que permaneció allí dos meses observó, durante el periodo del 27 de febrero al 15 de marzo de 1986, tormentas, rayos y fuertes lluvias en regiones normalmente secas, con vientos anormales del norte que con frecuencia alcanzaron rachas de 15 m s^{-1} ; luego, estas condiciones poco frecuentes cesaron. En aguas de las Galápagos se notó la imposibilidad de anidar en algunas especies y se observaron serpientes de mar (*Hydrophidae*) y “guerreros portugueses” (*Physalia*), lo que se debe a un calentamiento general del mar en esa región.

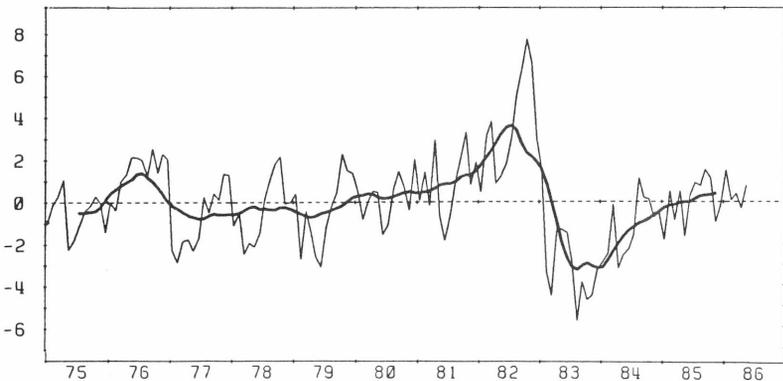


Figura 2 – El volumen de la capa superior del océano Pacífico tropical entre las latitudes 15°N y 15°S, respecto a su valor medio de unos $70 \times 10^{14} \text{ m}^3$. Las unidades en ordenadas son 10^{14} m^3 . El ciclo anual no ha sido cambiado.

De: Wyrski (1986).

Aproximadamente desde abril hasta agosto de 1986, la TSM estuvo alrededor de lo normal, con anomalías positivas muy débiles en zonas del Pacífico central e incluso hubo anomalías negativas en la parte oriental (aproximadamente de $-0,5K$ en alta mar frente a Perú) en mayo y en junio. Las zonas de anomalía positiva reaparecieron en el Pacífico ecuatorial central durante agosto y se extendieron sobre una zona bastante grande en septiembre, lo que hizo pensar en el inicio del ENOS; la zona de agua más cálida también se desplazó hacia la zona de la línea internacional de cambio de fecha (*Figura 3*). Desplazamientos positivos de $1,0$ a $1,5K$ continuaron durante diciembre de 1986 y, para entonces, el IOS era de $-1,6$. Se observaron cambios correspondientes en el nivel del mar, con anomalías positivas en el Pacífico oriental y negativas en el occidental (unos 10 cm en cada caso). Estas anomalías de la TSM y del nivel del mar son aproximadamente un tercio de las observadas durante el episodio del ENOS de 1982/83.

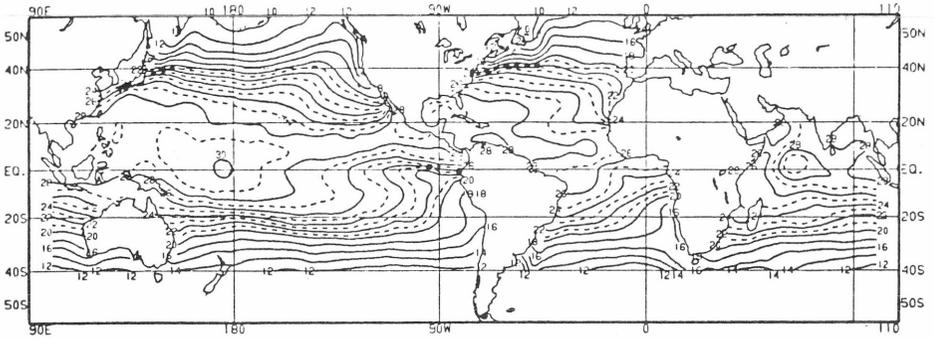


Figura 3 – Análisis combinado de la temperatura de la superficie de agua del mar en septiembre de 1986, sobre una rejilla de $2,5^{\circ}$. El intervalo entre las isotermas de línea llena es de $2^{\circ}C$.

En diciembre de 1986, había un consenso general de que estaba progresando un ENOS de débil a moderado, y los parámetros de la circulación atmosférica y oceánica indicaban que estaba en una fase madura. Se registraron anomalías típicas relacionadas con el ENOS, tales como un desplazamiento de la zona de convección del Pacífico occidental hacia el Pacífico central, anomalías de lluvias en zonas de Australia, Indonesia y sureste de Asia, América del Sur y Central y de África. La *Figura 4* muestra el campo de la función de corriente a 200 hPa, en diciembre de 1986, que presenta unos sistemas de circulación anticiclónica anormales que abarcan el Pacífico ecuatorial en torno a la línea internacional de cambio de fecha: una señal característica del ENOS. La *Figura 5* representa el correspondiente campo de emisión de la radiación de onda larga, con un máximo de convección (y, por tanto, un calentamiento tropical diabático) cerca de la línea de cambio de fecha. Hay que hacer notar que la relación entre la ROL y la precipitación sólo es aplicable a los sistemas convectivos tropicales (entre los $30^{\circ}N$ y los $30^{\circ}S$).

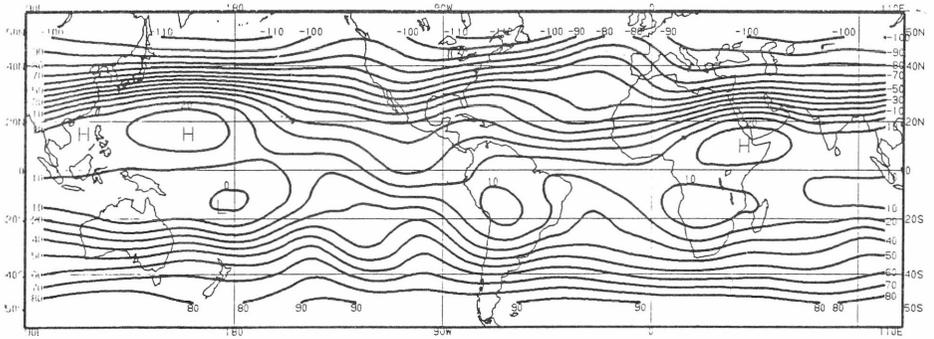


Figura 4 – Campo de la función de corriente a 200 hPa, en diciembre de 1986, sobre una rejilla de 5° Mercator. El intervalo de las isopletas es de $10 \times 10^6 m^2 s^{-1}$.

La lluvia en el Sahel

La mayor parte de la lluvia que se registra en el Sahel lo hace entre junio/julio y septiembre/octubre con el desplazamiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Recientes estudios sugieren que la configuración a escala mundial de las anomalías de la TSM modula la intensidad del flujo de humedad que converge hacia la ZCIT y, hasta un cierto límite, modula la latitud de la zona convectivamente activa correspondiente a la ZCIT. En la *Figura 6* se compara el índice de lluvia en el Sahel con los cambios en las anomalías de las diferencias de la TSM entre el hemisferio sur y el norte durante los últimos 85 años; a largo plazo la correspondencia es bastante buena, y por primera vez aparece una pista sobre las largas sequías sahelianas. (La anomalía de la diferencia de la TSM entre el Atlántico sur y el Atlántico norte muestra una señal similar, aun cuando la relación con la precipitación en el Sahel no resulta tan clara). Esto implica que los cambios a gran escala en la dinámica de la capa límite (convergencia de humedad), originados por los cambios en la distribución a escala mundial de la TSM, son tan importantes como muchos efectos locales. Resulta significativo que en 1986 el Atlántico sur se enfrió mientras que aumentó la lluvia sobre el Sahel.

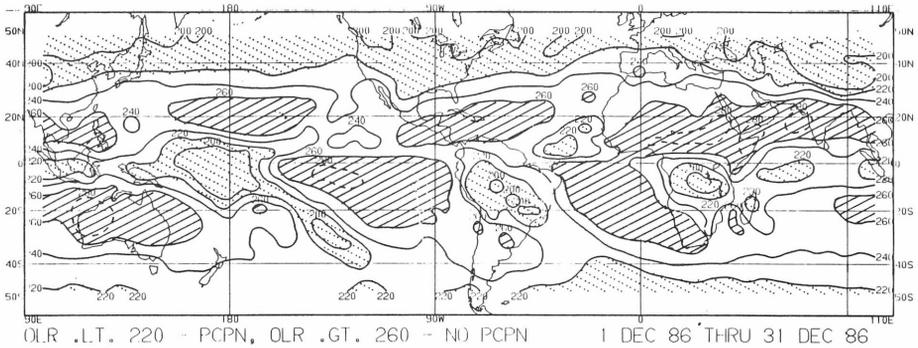


Figura 5 - Emisión media de radiación de onda larga, en diciembre de 1986, en $W m^2$.

Las zonas extratropicales de los hemisferios norte y sur

A diferencia de los trópicos y los subtropicales, donde el ENOS representa un fenómeno a escala mundial con una cierta circulación característica y un tipo de tiempo bastante determinado, así como una escala cronológica relativamente grande (más de un año), las zonas extratropicales están aparentemente sujetas a una variabilidad regional considerablemente mayor. La característica más persistente de las zonas extratropicales, en concreto las anomalías de los "bloqueos" de la circulación en las latitudes medias rara vez duran más de 35 a 40 días. Sin embargo, la variabilidad día a día en las zonas extratropicales es más sistemática con la presencia de perturbaciones ondulatorias baroclínicas. Su desplazamiento hacia el este es más o menos uniforme sobre el océano, pero más errático sobre la tierra (especialmente sobre zonas montañosas). Las descripciones de las configuraciones de la circulación y del tiempo en las latitudes medias en escalas cronológicas estacionales a interanuales carecen con frecuencia de un hilo conductor unificador y tienden a resultar deshilvanadas. Simples consideraciones sinópticas permiten relacionar las posiciones de las dorsales y las vaguadas en la troposfera media con el tiempo en superficie. Sin embargo, no resulta evidente el porqué los sistemas de dorsales y vaguadas están donde están. Con frecuencia tienen lugar inversiones de fase larga con un tiempo que cambia de húmedo/frío a seco/cálido con un periodo de 15 a 30 días.

Hay emplazamientos favorables para las componentes de onda larga de la circulación atmosférica que están determinados orográficamente y que prestan una residencia de cinco a siete días en la escala cronológica a las perturbaciones ondulatorias baroclínicas. La cuestión es: ¿qué causa los cambios de emplazamiento o de fase en el sistema de onda larga? ¿es la interacción con ondas cortas? ¿es la interacción con los límites de la superficie y de la atmósfera superior? ¿es la interacción con las anomalías de fuentes de calor tropicales? ¿o es un ruido inherente al sistema?

Los resultados de la simulación de los modelos numéricos demuestran que la circulación atmosférica en las latitudes medias resulta ser mucho más sensible a las condiciones iniciales que a unas prescritas condiciones de contorno. Se ha pensado que los trópicos pueden ser intrínsecamente más predictibles sobre escalas cronológicas estacionales e interanuales que las latitudes medias.

Claramente, se necesita un mejor sistema de vigilancia (claramente diferenciado del sistema de observación) para explicar las anomalías que se observan en la circulación extratropical en términos físicos básicos. Esto presenta problemas interesantes para la investigación y los estudios de diagnóstico. Por ejemplo: ¿tenemos en la actualidad los sistemas co-

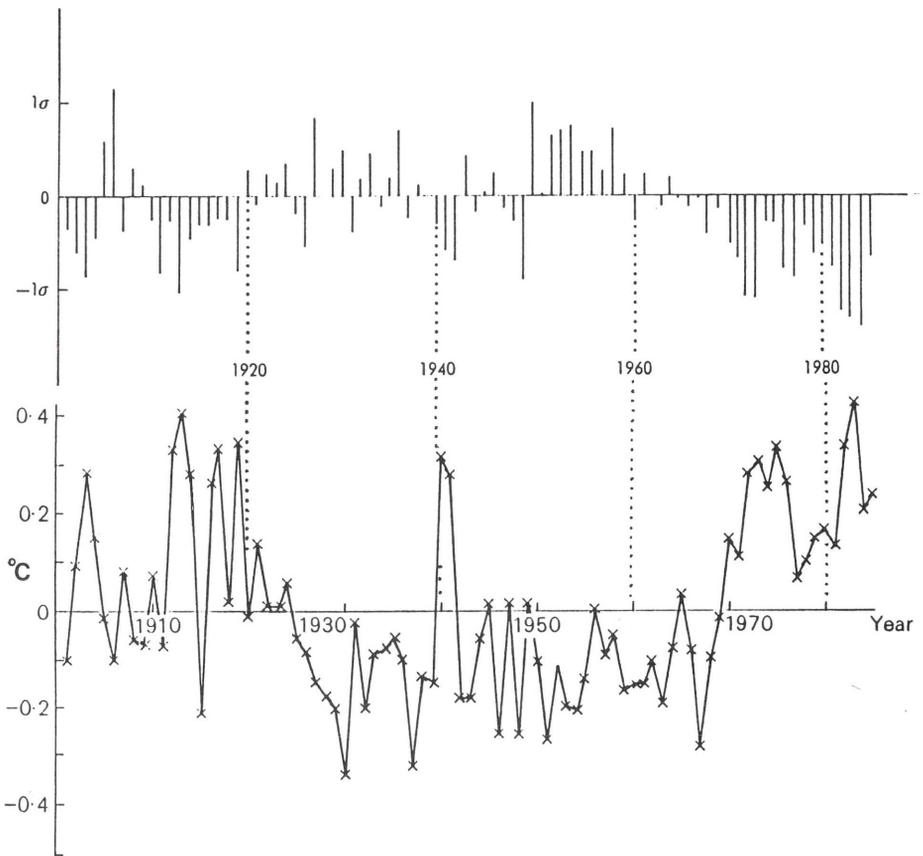


Figura 6 – Relación entre la lluvia en el Sahel y la anomalía de la diferencia de la TSM entre el hemisferio sur y el norte. Arriba: Anomalías normalizadas de la lluvia anual en el Sahel, 1901-1985; Abajo: Anomalías de la TSM del hemisferio sur menos las del hemisferio norte, respecto a la media 1951-1980.

rectos para vigilar el sistema climático extratropical? Los experimentos de simulación en los modelos de la circulación general proporcionan alguna introspección en los procesos relacionados con el establecimiento de un equilibrio en la dinámica y la termodinámica de una configuración de la circulación, pero con frecuencia resulta que no son buenos a la hora de explicar la evolución cronológica de un escenario de circulación en particular. Los modelos de la predicción del tiempo están mejorando, pero parece que encuentran una gran dificultad en ir más allá de las dos semanas - este es el límite de la "memoria" construida en el campo de inicialización. Más aún, la actual generación de modelos está llegando rápidamente a ser tan compleja como el sistema climático real, haciendo difícil el seguir exactamente lo que está ocurriendo dentro del modelo de la atmósfera. Se ha pensado que la modelización del sistema climático necesita ser tan vigilado y con tanto cuidado como el real antes de que puedan responderse las cuestiones físicas básicas.

El hemisferio norte

Estudiando la *Figura 1* se ve que el invierno 1985/86, en el hemisferio norte, se caracterizó por un tiempo relativamente templado en Alaska, noroeste de los EE.UU. y en el este de la URSS (especialmente febrero) y por un tiempo frío en la zona escandinava. La dura sequía en las zonas del sureste de los EE.UU. quizá esté relacionada con un desplazamiento hacia el este del anticiclón del Atlántico subtropical.

El hemisferio sur

Los períodos de tiempo húmedo/frío o seco/cálido en los subtrópicos y en las latitudes medias, generalmente, están asociadas con la posición de las dorsales o bloqueos. Los sistemas de bloqueo del hemisferio sur no quedan bien definidos en los campos de la circulación media mensual, ya que generalmente son menos persistentes o de menor amplitud que en el norte. Sin embargo, resultan suficientes para desviar la propagación de las perturbaciones ondulatorias acercándolas o alejándolas de las zonas australes de América del Sur, África y Australia. La anomalía extratropical en el hemisferio sur generalmente está dominada por una configuración del número de onda tres o cuatro (véase *Figura 7*). Esta característica del flujo zonal básico está engendrada por la distribución de los continentes en el hemisferio sur, aunque con mucho tengan una extensión mucho más pequeña que los del norte. Las regiones subtropicales en el hemisferio sur parecen responder a las fluctuaciones de las fuentes de calor tropicales; por ejemplo, durante un ENOS se producen déficits de precipitación o sequías en zonas de Australia, sur de África o en el sur de América del Sur. Resulta concebible que las fuentes de calor tropicales también ejerzan una influencia sobre la posición de las componentes de onda larga de la circulación, tal como se mencionó anteriormente.

Los gases de invernadero y el cambio climático

El anhídrido carbónico está contenido en una serie de depósitos muy grandes entre los que tienen lugar dos tipos de intercambios. Estos depósitos son la antigua biomasa donde el CO₂ está almacenado en los combustibles y pizarras fósiles, en los océanos y en la atmósfera. La mayor parte está en los océanos donde se estima que hay unas sesenta veces el total del CO₂ almacenado en la atmósfera (40 000 Gt (gigatonnes) frente a 700 Gt). La mayor parte de este CO₂ está disuelto en las capas profundas y frías del océano. Los cambios en la temperatura del océano a lo largo del año y la respiración biosférica por parte de las plantas autotróficas y de las heterotróficas se traduce en intercambios de CO₂ entre la atmósfera, los océanos y la vegetación. En la *Figura 8* se comparan las fluctuaciones de la

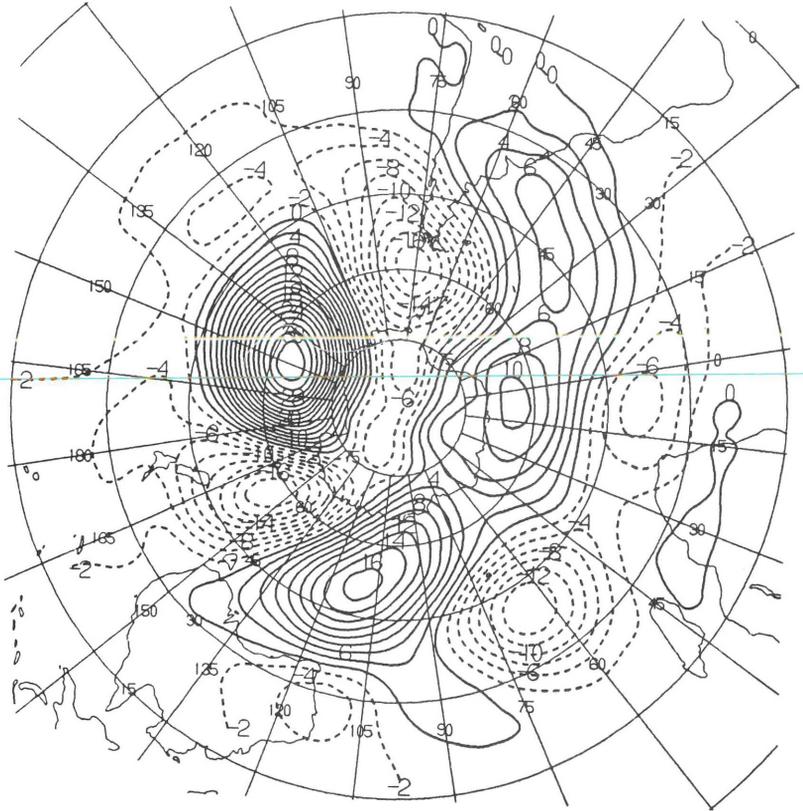


Figura 7 – Anomalías de las alturas geopotenciales para la superficie de 500 hPa en el hemisferio sur, durante junio de 1986.

concentración atmosférica de CO_2 con los cambios de un índice de vegetación derivado de los datos de los satélites, con el fin de mostrar que una parte principal del ciclo anual de las concentraciones de CO_2 se debe al ciclo estacional de la vegetación.

La emisión de CO_2 resultante de las actividades del hombre, hoy en día, se estima que es lo suficiente como para que dentro de 75 años se duplique la concentración de CO_2 en la atmósfera. Utilizando las simulaciones de los modelos de la circulación general del sistema climático se llega a la conclusión de que el aumento de la temperatura media mundial, de la superficie, debido a una duplicación del CO_2 , será del orden de 1,5 a 4,5K. Dicho calentamiento potencial es previsible que tenga grandes efectos regionales. Recientemente, se ha prestado atención a los efectos acumulativos de otros gases de invernadero radiativamente activos, los cuales, combinados con el CO_2 , pueden originar que el calentamiento equivalente se produzca mucho antes. Los cinco gases que se piensa que influyen fundamentalmente en este proceso son los clorofluorocarbonos 11 y 12 (CFCl_3 y CF_2Cl_2), el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O) y el ozono troposférico (O_3).

La evaluación internacional enunciada en Villach sobre el papel del anhídrido carbónico y de otros gases, que producen efecto de invernadero, sobre las variaciones climáticas y las repercusiones asociadas a las mismas (*Boletín de la OMM* 35 (2) pág. 137), señaló que si continuaban las tendencias actuales, la concentración combinada de CO_2 y de otros gases que producen efecto de invernadero, posiblemente tan pronto como en los años del

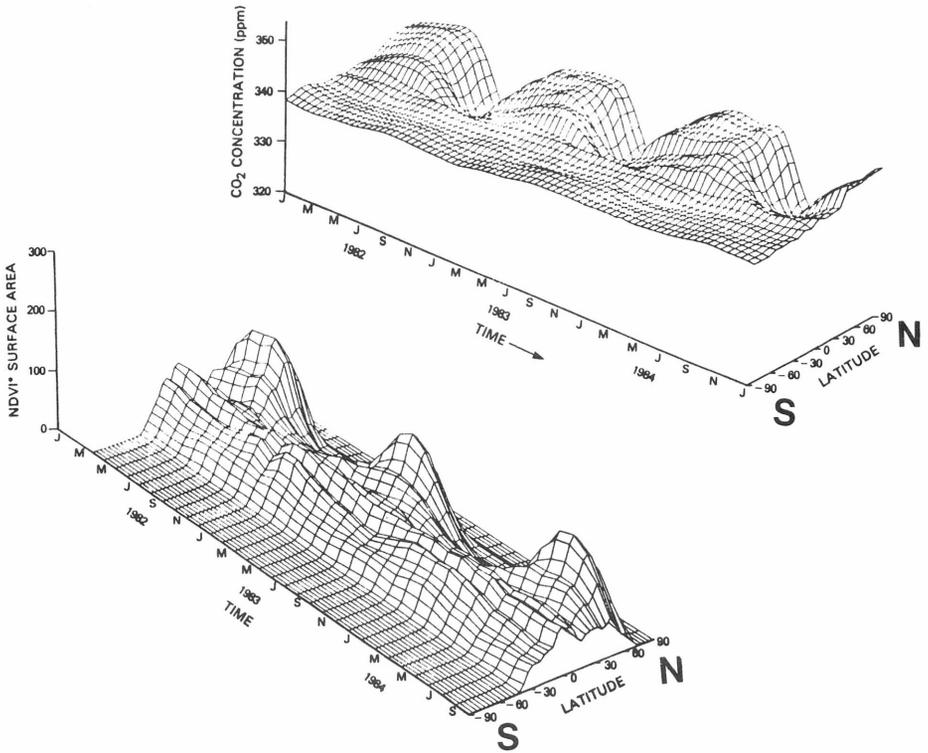


Figura 8 – Variaciones en el contenido global de anhídrido carbónico (arriba) y diferencia normalizada del índice de vegetación (DNIV) (abajo), para el periodo 1982-1984.
 De: Tucker et al. (1986).

decenio de 20-30, en el plano radiativo, sería equivalente a la duplicación del anhídrido carbónico en relación con el nivel correspondiente a la era preindustrial. Un calentamiento global de esta escala se espera que produzca una elevación del nivel del mar, comprendida entre 20 y 140 cm, lo que tendría un efecto de gran importancia sobre las zonas costeras y los estuarios.

REFERENCIAS

FOLLAND, C.K. y PARKER, D.E. (1985): World-wide and regional variations of surface marine temperature 1856-1985 (Variaciones mundiales y regionales de la temperatura de la superficie del mar, 1856-1985). Del Joint Royal Meteor. Soc./Hellenic Meteor. Soc. Meeting (Atenas, abril de 1985).

TUCKER, C.J., FUNG, I.Y., KEELING, C.D., y GAMMON, R.H. (1986): Relationship between atmospheric CO₂ variations and a satellite-derived vegetation index: (Relación entre el CO₂ atmosférico, sus variaciones y un índice de vegetación derivado de datos de los satélites). *Nature* 319, pág. 195.

WMO (1986/87): WCDP *Climate System Monitoring Bulletin* Nos. 1, 2, 3, 7, 10 (1986) y No. 1 (1987).

WMO (1987): WCDP *Global Climate System Review* (septiembre de 1984 a mayo de 1986).

WYRTKI, K. (1986): Fluctuations in upper-layer volume or near-surface upper oceanic heat content. En: *Climate System Monitoring Bulletin* No. 3, OMM.