

# EL NIÑO 1997-98 Y SU IMPACTO CLIMÁTICO GLOBAL

*José Jaime Capel Molina* \*

*Universidad de Almería*

## RESUMEN

Se estudian aspectos científicos oceánico-atmosféricos del Fenómeno EL NIÑO 1997-1998, considerado de magnitud extraordinaria, así como su incidencia en el Sistema Climático Terrestre. Este evento puede evaluarse como el más intenso de nuestra centuria, con una anomalía térmica en el Pacífico Central de hasta 3,9°. EL NIÑO ha sido uno de los factores más importantes que contribuyó a que la temperatura media de la superficie de la Tierra aumentara en 1997 hasta el valor máximo registrado del siglo XX (+ 0,44°), en relación al período 1961-1990.

**Palabras clave:** Climatología, Oceanografía, Fenómeno EL NIÑO 1997-1998. Cambio Climático.

## SUMMARY

Scientific oceanic-atmospheric aspects of EL NIÑO 1997-1998, considered of extraordinary magnitude, are studied and, in the same way, its effect in the climatic earthy system. This event can be evaluated as the most intense of our century, as a thermal anomaly in the central equatorial Pacific even 3,9°. EL NIÑO has been one of the most outstanding factors that contributed to the increase of the mean temperature in the earthy surface in 1997, it has reached the highest value registered in the XXth Century (more than 0,44°C), in relation to the period 1961-1990.

**Key words:** Climatology, Oceanography, The phenomenon El Niño, Climatic Change.

Originariamente EL NIÑO designaba una contracorriente ecuatorial que afectaba a las costas de Ecuador y Norte de Perú durante el verano austral. Se trataba de un fenómeno

---

Fecha de Recepción: 30 de abril de 1998.

\* Departamento de Historia, Geografía e Historia del Arte. Universidad de Almería. La Cañada de San Urbano. 04120 Almería (España).

oceanográfico regional que interesaba ante todo a las costas del Perú e identificado en el último tercio del siglo XIX por los pescadores de Paita, a finales de diciembre por Navidad. Hoy día asigna a un fenómeno oceánico-atmosférico que altera las condiciones normales del Dominio Intertropical y, cada vez más, se entiende por la comunidad científica como fenómeno más complejo y de gran escala, que si bien se configura en el Pacífico Ecuatorial, los impactos asociados le dan la vuelta al globo, especialmente en los trópicos (GLANZT, 1997 b) y es uno de las principales causas de la variabilidad climática interanual del planeta (RIBSTEIN et al., 1997). Entendiéndose, pues, como parte integrante del sistema climático terrestre y no una anomalía climática notable, sino configurando todo el proceso global del clima de la Tierra. El último episodio «EL NIÑO 1997-1998 está siendo el fenómeno climatológico más estudiado hasta la fecha, debido a la globalización de la información, por sus efectos en el desarrollo de la vida marina, la sociedad, la economía, los recursos naturales e impactos medioambientales de gran significación en la cuenca del océano Pacífico y Sudamérica y por las alteraciones que está provocando en el sistema climático terrestre.

Las lluvias y las anomalías de la temperatura que ha provocado hasta mayo de 1998 el fenómeno de EL NIÑO son excepcionales. Según el informe anual que sobre el estado del clima mundial hizo público el 20 de enero de 1998 la OMM, durante el segundo semestre de 1997 EL NIÑO llegó a ser más fuerte que el registrado en 1982-1983, que había sido considerado hasta ese momento el más intenso. La anomalía de la temperatura de superficie basada tanto en medias terrestres como marinas del período 1961-1990 aumentó en 1997 hasta el valor máximo registrado del siglo XX (+ 0,44°). EL NIÑO fue uno de los factores más importantes que contribuyó a que la temperatura de la superficie terrestre registrara el mayor aumento del siglo (OMM, Ginebra, 20-E-1998).

Por todo ello, se ha trabajado sin demora por parte de meteorólogos, climatólogos y oceanógrafos, así como por Instituciones Científicas Internacionales prestigiosas como acontece en el esfuerzo promovido por el Instituto Internacional de Investigaciones para la Predicción Climática (IRI) que engloba la asociación de tres prestigiosas instituciones científicas — Instituto de Oceanografía SCRIPPS, la NOAA (Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de USA) y la Mont-Earth Observatory de la Universidad de Columbia—. En el IRI se analizan diariamente la información facilitada por los satélites meteorológicos, elaborándose mapas climáticos a través de simulaciones por computadoras, diferentes modelos de predicción. Al mismo tiempo que departamentos universitarios están investigando sobre arrecifes de coral en el Pacífico Ecuatorial, a cerca del crecimiento de anillos de los árboles y glaciares de la cordillera andina en sus sectores peruano y ecuatoriano, indicadores significativos de las huellas dejadas por EL NIÑO. El objeto de todas las investigaciones llevadas en curso, es la obtención de la máxima información posible para poder entender y descifrar, en forma detallada, el comportamiento y la dinámica de este inusual calentamiento de las aguas del Pacífico Ecuatorial, en sus sectores Central y Oriental.

El NIÑO podría ser una prueba de laboratorio para el tipo de alteraciones climáticas, a gran escala, que algunos expertos norteamericanos consideran que irán asociados a los cambios climáticos originados por el calentamiento global. Las anomalías en diferentes parámetros meteorológicos y desviaciones fuertes están y seguirán apareciendo en dife-

rentes escenarios de a Tierra. El NE de USA ha conocido el invierno más caluroso en más de 5 años. Nueva York registró en Central Park 4,4° para el mes de enero de 1998, con una desviación de 4,1° en su temperatura media. La inesperada primavera redundó en el florecimiento de los cerezos en Washington en la primera semana de enero de 1998. Una de las más violentas tempestades afectó a comienzos de febrero a California, inundando la costa con olas de 9 metros, lluvias torrenciales y vientos superiores a 120 kilómetros por hora, los daños en infraestructura se estimaron es más de 300 millones de dólares. La serie de tormentas que comenzaron en enero dejaron 10 muertos. En Guadalajara se registró una fuerte nevada, hidrometeoro no registrado en la capital de Jalisco (México) desde 1881. En el centro y Noroeste del Estado norteamericano de Florida, durante la madrugada del 23-febrero-1998, se originaron entre 6 y 10 tornados que afectaron a los condados de Orange, Seminola, Volusia, Osceola y Sanford, los vientos llegaron a alcanzar velocidades superiores a 340 kilómetro por hora, destrozando más de 500 viviendas y causando la muerte de 38 personas; las tormentas fueron atribuidas en parte a las pautas eólicas y condiciones conectadas con EL NIÑO. En Bolivia, en el municipio de Mokotoro el 18 de febrero de 1998, a consecuencia del deslizamiento de una ladera por las intensas precipitaciones, un huaico sepultó cerca de 100 personas (EL COMERCIO, Lima, 28/II/1998). El temporal de tormentas que afectó a comienzos de febrero (entre los días 7 al 9) a California, castigó con severidad a las ciudades mexicanas de Tijuana y Rosarito (Baja California), causaron 14 muertos y 584 damnificados. Durante la primera quincena de febrero intensas y prolongadas lluvias afectaron a la región atlántica de Argentina, finalizando virtualmente la temporada del verano austral en los balnearios y playas del Mar del Plata; así mismo en Buenos Aires el día 6 de febrero una gran tormenta con lluvia excepcional acumuló 130 mm en varias horas, anegando la capital argentina, con 5 muertos y 4.000 personas damnificadas.

Los primeros pasos para la comprensión del fenómeno ENSO tuvieron lugar en 1923, promovido por el meteorólogo británico Sir Gilbert Walker que sería el primer científico que evidenció la existencia de una oscilación masiva de la presión atmosférica entre ambos flancos del Pacífico Ecuatorial y su relación con las lluvias de verano del monzón Indio, a través de un cambio zonal a gran escala. Posteriormente en 1966 Jacob Bjerknes de la Universidad de UCLA dió un nuevo paso en la explicación del fenómeno, sugiriendo que EL NIÑO iba asociado a dichas fluctuaciones de la presión atmosférica (Oscilación del Sur). Así pues hace referencia ENSO a la relación entre EL NIÑO-Oscilación del Sur (EL NIÑO-Southern Oscillation), en Latinoamérica se conoce indistintamente ENSO o como ENOS, FENOS (Fenómeno EL NIÑO-Oscilación del Sur) o FEN (Fenómeno EL NIÑO).

Dentro del intento de comprensión de los mecanismos del calentamiento anómalo del Pacífico Ecuatorial y sus oscilaciones a largo plazo, figuran entre otras las aportaciones de los geólogos y geomorfólogos que investigan los depósitos de hielo acumulados en glaciares de la alta cordillera andina. El hielo tiene un crecimiento de espesor diferente interanual en función de la aportación nivométrica. Los glaciares son excelentes indicadores de la evolución climática por su extremada sensibilidad a las variaciones de la temperatura, radiación y precipitaciones. De tal forma, que la región tropical andina de altura (Ecuador, Perú y Bolivia) se revela a priori como un singular laboratorio natural, que posibilita seguir las evoluciones climáticas generales (POUYAUD et al., 1997). En dicho espacio

geográfico, la señal de ENSO tiene una gran influencia sobre el funcionamiento de los glaciares tropicales y las fuentes de agua correspondientes (THOMPSON, 1995; RIBSTEIN et al.). A medio plazo, el aumento térmico de la región tropical debería traducirse en un incremento de la evaporación y de la humedad, asociado a una activación de las transferencias del calor, acelerando el retroceso de los depósitos glaciares, ya bastante mermados durante los episodios cálidos de ENSO —fase negativa—, (FRANCOU et al., 1995; RAMÍREZ et al., 1997).

A través de la dendrocronología, el crecimiento de anillos de los árboles evidencia el curso de las alteraciones climáticas. Para la región subtropical de montaña de América del Sur, al Este de los Andes, se ha demostrado desde mediados de la década de los años 80 la aplicabilidad de los registros dendrocronológicos que caracterizan las variaciones climáticas, que durante los últimos dos siglos se han originado. Las primeras cronologías de anchura de anillos derivados a partir del nogal criollo (*Juglans australis*) y cedro tucumano (*Cedrela lilloi*) han sido utilizadas para estimar las variaciones regionales de la temperatura y la precipitación desde 1800, aunque algunas de estas cronologías logran alcanzar 300 años de extensión (VILLALBA et al., 1997). Recientemente D. STAHL de la Universidad de Arkansas mostró los resultados de su investigación acerca de las tecas en Java y los pinos de México, remontándose la información obtenida a 1706; dicho autor obtiene un cambio brusco a partir de 1880. Desde esa fecha, los episodios lluviosos que se corresponden con los eventos cálidos de ENSO (EL NIÑO) comenzaron a ocurrir con un promedio de 4,9 años en vez de cada 7,5 años, mientras que los períodos fríos de ENSO (NIÑA) se presentaron a intervalos de 4,2 años en comparación con una sola vez cada década (M. NASH, 1998).

E incluso el crecimiento de los corales son demostrativos de la cronología de EL NIÑO en el pasado. Los carbonatos de diversos orígenes biológicos, como el caso de los corales, han demostrado ser una de las señales más significativas de información paleoceanográfica y paleoclimática. Desde hace dos décadas las nuevas metodologías han permitido interpretar la información facilitada por los arrecifes de corales aragoníticos, que constituyen un archivo cronológico para dichos eventos (SHEN, 1994). Entre los organismos que configuran los arrecifes coralinos, se diferencian los corales (animales que sobre los arrecifes poseen una alga simbiótica que viven dentro de sus membranas) y las algas coralinas (plantas). Los organismos que construyen los arrecifes (preferentemente en el Dominio Tropical) y que viven en ese medio han sido prácticamente los mismos a lo largo del Pleistoceno (KLEYPAS, 1997), aunque han tenido que soportar fluctuaciones climáticas y variaciones del nivel marino en las épocas glaciares del Cuaternario; los efectos de los episodios de EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR son manifiestos. La decoloración de los corales es un «*proceso en los que éstos pierden sus algas simbióticas colorantes de sus membranas y así se quedan sin pigmentación y sin los beneficios de las algas productivas de alimentos dentro del sistema*» (KLEYPAS); por lo común se atribuye actualmente al incremento térmico de la TSM, donde ENSO es en gran parte responsable. La tasa de mortalidad entre los corales descoloridos está en función de la magnitud del calentamiento anómalo de las aguas del Pacífico Ecuatorial Central y Oriental. El impacto del episodio 1982-1983 sobre los arrecifes del archipiélago de las Galápagos fue catastrófica, éstos tuvieron pérdidas que se cuantificaron entre 95% y 99% de sus corales, e

igualmente afectaron a los arrecifes del Pacífico Oriental. Para (COLGAN, 1990) los eventos cálidos de ENSO actúan directamente restringiendo el desarrollo de los corales en el Pacífico Tropical Oriental, región oceánica singularmente vulnerable, pues «*se localizan al este de la Barrera Pacífica Oriental, una región más allá de la cual la disposición de larvas es grandemente restringida por las corrientes disponibles y las distancias entre las fuentes de larvas*» (KLEYPAS). Por otro lado, cuando se origina un ascenso térmico considerable, los corales inmediatamente incorporan más contenido de Estroncio (Sr) hacia sus esqueletos que cuando acontecen condiciones más frías. Su contenido de oxígeno, al mismo tiempo que sus oscilaciones de salinidad dan información sobre estimación de precipitaciones: lluvias intensas y temperaturas altas son indicadoras de episodios EL NIÑO.

La sedimentología también actúa como registrador de la historia climatológica. En los sedimentos de lagunas del archipiélago de las Galápagos se sitúan uno de los registros más completos y antiguos de recurrencia de los episodios de mayor intensidad de EL NIÑO. Las lluvias intensas que provoca inducen a que la salinidad del agua de las lagunas salobres de tales islas baje apreciablemente, y a través de análisis de mineralogía y geoquímica se pueden detectar dichos cambios en los sedimentos lacustres. Por otro lado, el agua dulce aportada en las épocas de lluvias sobre las lagunas, provoca un cambio de la composición de especies de algas microscópicas (diatomeas); éstas tienen paredes celulares de silicio que posibilita que la comunidad entera se preserve como fósil en los sedimentos (STEINITZ-KANNAN et al., 1997). Por medio de estudios de paleolimnología, dichos autores, tras el estudio de un horizonte sedimentario de 4.17 m de espesor obtenido en la laguna salobre ubicada en el cráter de Bainbridge al Sureste de la isla de Santiago, deducen una historia detallada de las fluctuaciones de salinidad (con datación radiocarbónica —AMS— extensivo con una fecha al fondo de 6170 +/- 55 años), de manera que a períodos de mayor salinidad le suceden períodos cortos de salinidad más baja relacionados con los incrementos de lluvia del fenómeno ENSO. «*Tales períodos se caracterizan por 83 láminas delgadas (< 2 mm) ricas en material orgánico que contienen especies de diatomeas indicadoras de menor salinidad, la mayoría de estas láminas se encuentran en los últimos 2500 años y son más frecuentes en los últimos 800-1000 años, después de la pequeña edad de hielo*» (STEINITZ-KANNAN et al.). NOLLER, geomorfólogo de la Universidad americana de Vanderblit, ha estudiado en el desierto de Sechura (Piura), las lluvias torrenciales episódicas. Éstas impactan los tablazos de Piura y Tumbes, quedando la superficie polvorienta con una fina película de sedimento rojizo. A través de la datación de los sedimentos se ha apuntado que el ciclo de EL NIÑO ha estado operando por lo menos 2 millones de años y probablemente más tiempo (M. NASH). Para entender la historia cronológica de ENSO, son muy interesantes las informaciones obtenidas sobre variaciones de nivel marino por medio de las investigaciones geomorfológicas sobre depósitos de playa (DE VRIES y PEARCY, 1982; CAMPBELL, 1982; MARTIN et al., 1993).

Aunque todos los episodios se asemejan, no evolucionan de igual forma; no existen dos Niños iguales. Se reconoce que cada evento posee sus peculiaridades y afecta en manera diferente al continente americano y cuenca del océano Pacífico. Por ello es difícil definir un Niño típico. Se perfila que las variaciones de los ciclos de EL NIÑO viene impuesto por otros componentes del interconectado Sistema Climático Terrestre. La co-

munidad científica se reafirma: el ciclo de EL NIÑO es cada vez más variable y preferentemente caótico. Existe una gran incertidumbre a cerca de las relaciones entre EL NIÑO, La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y La Oscilación del Atlántico Norte, y la posible interactuación entre ellos. Para Nathan Mantua (1997), investigador del Instituto Unido para el Estudio de la Atmósfera y los Océanos, de la Universidad de Washington, considera que el fenómeno ENSO es el patrón dominante de la variabilidad de las escalas del tiempo anualmente (de año en año). Mas para períodos más largos de fluctuaciones - como mínimo 6 años — prevalece un patrón de variaciones climáticas (de década en década) vinculado sin lugar a dudas con ENSO y que se conoce como la Oscilación Decadal del Pacífico. Las alteraciones climáticas relacionadas con ENSO y ODP comparan similitudes tanto sobre el Pacífico Norte como sobre Norteamérica. Todos son fenómenos que configuran el Sistema Climático Terrestre, aunque está aún lejos de conocerse sobre el nivel de interferencia que hay entre dichos subsistemas climatológicos. Tampoco se sabe si EL NIÑO puede causar cualquiera de estos ciclos (subsistemas), o bien si es causado por ellos.

Los meteorólogos norteamericanos y brasileños conocen las dificultades de la predicción del efecto de EL NIÑO en el Este de USA o en Brasil. La Oscilación del Atlántico Norte cambia la posición del flujo de vientos del Oeste, en las capas altas de la atmósfera, sobre el Atlántico y por tanto influye significativamente en el tiempo de la Europa Occidental.

Dentro del calentamiento térmico global de la atmósfera, ¿qué papel representa EL NIÑO? Su ciclo está cambiando en su periodicidad, periodicidad que nunca fue rigurosa sino caótica, pero se presenta cada vez con mayor asiduidad, sobre todo los episodios extraordinarios. Desde los años 70 se han dado tres eventos muy fuertes en tan solo 25 años. Para (TRENBERTH, 1997 b) una de las razones podría ser la posibilidad de que la piscina cálida en el Pacífico Tropical se está expandiendo más; los modelos climáticos demuestran cambios en ENSO con el calentamiento global, pero dichos modelos no simulan a ENSO con suficiente fidelidad para tener confianza en los resultados. ¿Cómo va evolucionar EL NIÑO, acelerándose o relentizándose?. Son preguntas que difícilmente tienen una respuesta absoluta al nivel de los conocimientos actuales sobre la interacción atmósfera-oceano. Para algunos investigadores en climatología de la Organización Meteorológica Mundial, EL NIÑO tiende a acelerarse con la influencia de las actividades humanas, pues la emisión de gases efecto invernadero modifican la temperatura superficial de los océanos.

## ACERCA DE LA CARACTERIZACIÓN DE EL NIÑO

Se puede definir el fenómeno EL NIÑO como el calentamiento anómalo de la superficie del mar 2° C sobre los valores normales durante un período por lo menos de 4 meses, a lo largo de la línea Ecuatorial en los sectores Central y Oriental del Pacífico Tropical. Este calentamiento anómalo de la superficie del mar está asociado a una vasta fluctuación de la presión atmosférica (Oscilación del Sur) entre ambos flancos (Este-Oeste) del Océano.

La ocurrencia de EL NIÑO es cíclica, no periódica, su frecuencia de aparición varia

según los autores, con intervalos entre 3 y 8 años (CHÁVEZ, 1987); 3 y 16 años (LAGOS, 1997 a); 2 y 12 años (ROSSEL et al., 1997); 1-5 años (YESID et al., 1997); 2 y 7 años (NASH, 1998); 4 y 7 años (GLANTZ, 1997 a); 3 y 7 años (TRENBERTH, 1997 b). Para algunos autores, la definición de EL NIÑO estaría basada en las anomalías de la TSM observadas en ciertas estaciones de la costa peruana, como por ejemplo Puerto Chicama, 7° 41'S. y 79° 26'W (MARCHARE y ORTLIEB, 1993; MIRANDA, 1997).

Estos episodios de anómalo calentamiento oceánico, con temperaturas de 28° a 30°, se ven asociados a masas de aire ricas en vapor de agua, de gran espesor y abundante nubosidad convectiva, la temperatura absoluta del agua debe ser como mínimo 28°. Su capacidad higrométrica puede originar lluvias intensas en islas y archipiélagos del área ecuatorial del Pacífico Central y Oriental. Todo ello va asociado a un desplazamiento anómalo hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT.) entre 2° y 5° S, en la costa occidental de Sudamérica. Grandes precipitaciones propias de la Convergencia Intertropical se desencadenan en Ecuador y territorio peruano hasta aproximadamente 7°S. El fenómeno EL NIÑO tiene repercusiones a macroescala, causando cambios meteorológicos, oceanográficos y biológicos en todo el globo terráqueo (PINTO, 1985). El calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Pacífico Ecuatorial —la anomalía puede alcanzar hasta 12° C (ARNTZ y FAHRBACH, 1996)— desde que comienza hasta que finaliza, va asociado a una fluctuación masiva de la presión atmosférica entre los flancos Este y Oeste del Océano Pacífico. Esta relación entre EL NIÑO y la Oscilación del Sur, evidenciada en la Universidad de los Ángeles a mediados de la década de los años 60, fue un paso decisivo en la explicación de sus mecanismos (BERJKNES, 1966) Estos cambios de la presión atmosférica en el Océano Pacífico redundan en fluctuaciones del viento. Las fluctuaciones del viento provocan una perturbación en el Océano que se propaga como una onda hacia el Este, e iniciándose EL NIÑO durante la transición que se produce entre un sistema de circulación a otro (WYRTKI, 1975). En el primer sistema de circulación, los vientos alisios de componente Este (NE y SE) en el Pacífico Ecuatorial presentan una gran regularidad e intensidad, igualmente muestra una gran intensidad la corriente cálida Sur Ecuatorial que dirigiéndose de Este a Oeste, fluye varios grados de latitud Norte. Todo ello lleva consigo el apilamiento de aguas ecuatoriales cálidas en el sector Occidental del Pacífico Ecuatorial, al mismo tiempo que se hunde la termoclina. Simultáneamente sobre el sector oriental del Pacífico Tropical y Ecuatorial llegan las aguas frías de la corriente de Humboldt, con un descenso notable de las temperaturas y vientos del SE y Sur, simultáneamente que se eleva la termoclina. Las dos componentes atmosférica y oceánica del fenómeno suelen desarrollarse muy lentamente y pueden durar varios años. En el segundo sistema de circulación, los vientos alisios de componente Este (NE y SE) en el Pacífico Ecuatorial empiezan a disminuir su intensidad, de igual manera que la corriente cálida sur ecuatorial, hundiéndose la termoclina en el Pacífico Tropical Oriental y la temperatura superficial se incrementa.

El episodio de EL NIÑO tiene lugar durante el cambio brusco entre ambos sistemas de circulación. Al colapsar los vientos alisios en el Pacífico Ecuatorial Occidental cambian su dirección 180°, **rolando** al Oeste en niveles bajos y medios. Así pues estas anomalías a escala de vientos de bajo nivel, van asociados a la fluctuación que experimenta la oscilación del Sur, siendo singularmente relevantes las anomalías provocadas por vientos proce-

dentes del Oeste que se ubican cerca de la línea ecuatorial desde Indonesia hasta la línea de cambio de fecha (180°E) (MOREANO,1984). El cambio tan brusco y drástico en la circulación superficial Ecuatorial genera una perturbación en el Océano, conocido como ondas ecuatoriales Kelvin. Es de común aceptación que en el Pacífico Ecuatorial representan un papel importante en el transporte de energía las oscilaciones de baja frecuencia y dentro de ellas, las ondas Kelvin son las responsables de este transporte desde el flanco occidental del Pacífico hacia el oriental, atribuyéndose a este mecanismo el origen de las situaciones anómalas características de los episodios de EL NIÑO. Como respuesta a la propagación de las ondas Kelvin se eleva el nivel del mar en el Pacífico Ecuatorial Oriental: los puertos de las Galápagos o los de Ecuador o Norte de Perú son indicadores significativos para detectar la presencia de estas oscilaciones del nivel marino junto con el calentamiento anómalo de las aguas superficiales. Las cuales originadas en el Pacífico Ecuatorial Central, se propagan hacia el Este a lo largo del Ecuador geográfico y en dirección N-S (Ondas de propagación polar).

### ASPECTOS ATMOSFÉRICOS DE MACROESCALA

Con anterioridad al episodio ENSO 1982-1983 se utilizaba el promedio de los rasgos de los episodios anteriores como patrón o NIÑO canónico, mas luego a partir de este evento catastrófico se ha caracterizado el fenómeno por diferencias en las normales climatológicas de varias variables oceánicas y atmosféricas. Cuatro variables atmosféricas, viento, presión atmosférica, precipitación, radiación emergente en onda larga y tres variables oceanográficas: temperatura superficial del mar, nivel del mar y profundidad de la termoclina. Variables observadas ininterrumpidamente desde el espacio a través de satélites y en el mar con buques y boyas fijas y a la deriva, y en estaciones fijas en islas y a lo largo de las costas para llevar a cabo un seguimiento de las variaciones ambientales tanto en el mar como en la atmósfera.

No obstante este NIÑO patrón sirvió para establecer las diferentes fases en el desarrollo de un episodio ENSO: fase precursora (P), inicial (I), de valores máximos (MAX), transición (T), madura (M) y decaimiento (D), las que todavía se usan. Basándose en episodios anteriores, la duración promedio de un episodio de EL NIÑO es de 12 a 18 meses. Como este episodio empezó en marzo de 1997, se esperaría que tuviese una duración máxima hasta abril de 1998 o hasta octubre de este mismo año (CORNEJO y SANTOS, 1997). Posiblemente uno de los logros más sobresaliente llevados a cabo en los últimos años, y a partir del NIÑO 1982-1983, fue llegar a simular con éxito el ciclo de EL NIÑO (episodios cálidos y fríos), a través de modelos numéricos acoplados del océano y la atmósfera del Pacífico tropical y Ecuatorial. Son muy utilizados los modelos estadísticos desarrollados por el NCEP/NOAA sobre comportamiento océano/atmósfera y se conoce como CPM 12 (método de análogos y de análisis de correlación canónica). No obstante éste como los restantes modelos existentes de predicción de este fenómeno tiene exactitud solamente para un período de tres meses como máximo. Según se alarga el tiempo de predicción éstos se hacen más imprecisos en sus resultados, perdiendo toda utilidad y fiabilidad por períodos de 9 ó 12 meses.

## ANOMALÍAS OCEÁNICAS DURANTE 1997 y 1998

### Anomalías de la TSM y SST

Este episodio de 1997-1998 es comparable en cuanto a su intensidad al que fue considerado, hasta el momento, el NIÑO del siglo XX (el evento 1982-1983). Las características oceanográficas se describen en relación a la temperatura de la superficie del mar (TSM) en la cuenca del Pacífico entre 30° N y 30° S. Los datos y cartografía analizados proceden del Centro de Cambio Climático de la NOAA-AOML, que informan de la temperatura de la TSM y de la temperatura superficial del mar en términos de su desviación con respecto a la temperatura promedio (SST-Anomalies).

Durante los meses de enero y febrero de 1997 las condiciones térmicas fueron normales, la TSM mantuvo ligeras anomalías negativas: -0,6°, 0 y -0,4° en las regiones Niño 1 + 2, Niño 3 y Niño 3.4, respectivamente. A partir de marzo se inicia gradualmente el incremento de la TSM en el Pacífico Ecuatorial Oriental, con anomalías positivas de 1°. La situación casi normal de finales de verano y comienzos de otoño se invierte de abril a junio, adquiriendo las temperaturas del Pacífico Ecuatorial en sus sectores oriental y central las características de un NIÑO intenso, con desviaciones en junio frente al litoral peruano (Niño 1 + 2) de 3,9°. Durante el invierno austral y a lo largo de los meses de julio y agosto, las anomalías de la temperatura media continuaron incrementándose en el Pacífico Ecuatorial, alcanzando en agosto en la Región Niño 1 + 2, 4,2° y 3,1° en la Región Niño 3. En el Pacífico Occidental proseguía con anomalías positivas en torno a 1° desde el mes de abril y así se mantendrá sin oscilaciones apreciables hasta finales de 1997.

De agosto hasta finales de octubre, anomalías de la TSM superior a 5° se extendieron por el litoral de Sudamérica y las cercanías del archipiélago de las Galápagos, anomalías de 4° hasta el meridiano 120" W y anomalías superiores a 2° se expandieron hasta 160° W.

Durante noviembre en la costa occidental de Sudamérica y al norte del paralelo 12" S. se registraron, en intervalos cortos, máximas anomalías positivas de la TSM hasta de 4,8° en Baltra y Callao. Los promedios normales de las anomalías de la TSM en Baltra y Callao fueron de 4,4° y 4,3°, respectivamente (LAGOS, 1997 b) y de 7,1° frente al puerto de Paita.

Los índices observados en diciembre de 1997 indicaban que las anomalías estaban alcanzando los valores más altos desde que comenzó el episodio cálido de ENSO. Las anomalías de la TSM fueron de 4,5° en la Región Niño 1 + 2 y de 3,9° en la Región Niño 3. En el Pacífico Ecuatorial occidental (Región Niño 4) continuaba con anomalías positivas del orden de 1° desde el mes de abril, mientras que en la región frente a la costa de Sudamérica y al norte del paralelo de Lima, las anomalías positivas de la TSM fueron del orden de 4,5°. A lo largo de la costa sudamericana y al norte de la latitud de Lima se observaron, en períodos cortos, máximas anomalías positivas de hasta 5,1° en Baltra y 7,5° en Callao. El nivel del mar a lo largo de la costa pacífica de América del Sur alcanzó durante diciembre sus valores más elevados durante 1997. Los promedios mensuales de las anomalías del nivel del mar en Baltra y Callao fueron de 41,6 cm y 33,9 cm, respectivamente, que son comparables al observados en el período 1982-1983 (BAC, n° 87, Dic, 1997).

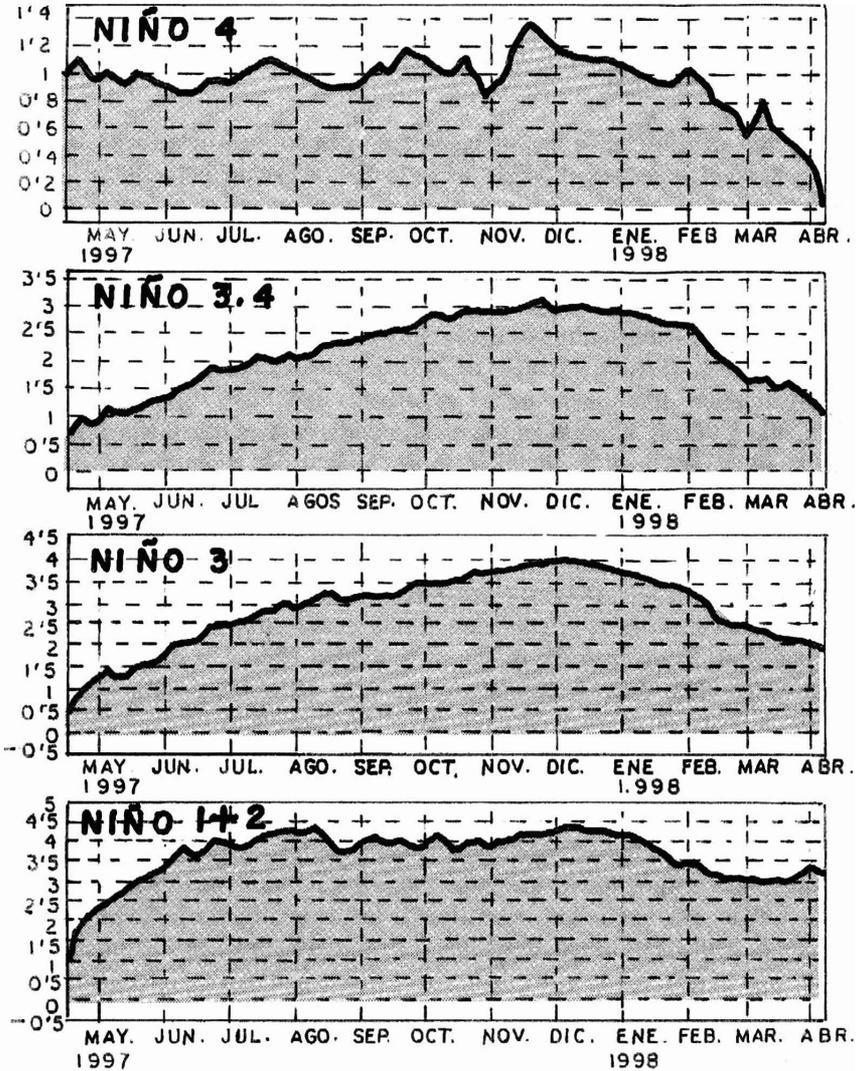


FIGURA I. Evolución normal de las anomalías de la TSM en el Pacífico Ecuatorial, en las regiones Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1+2 (Actualizada a 8 de abril de 1998). Fuente: Centro de Pronóstico Climático/ NCEP, USA.

**AÑO 1998.** Durante enero, las anomalías positivas de la TSM continuaron con valores altos, pero ligeramente inferiores a los de diciembre de 1997, no obstante la temperatura superior a 28° se extendió a todo el Pacífico Ecuatorial. La TSM superior a + 28" se situaba al Este de 170" W y superior a 4" al Este de 135" W en el Pacífico Ecuatorial; mientras que en el Pacífico Ecuatorial Oriental las anomalías de la TSM disminuyeron. A

lo largo de la costa de Sudamérica y al norte del paralelo 12 S. las anomalías de la TSM se incrementaron, oscilando entre 6" y 8". Según la NOAA/AOML, en períodos cortos, se observaron máximas anomalías positivas de la TSM hasta de 4,6° en Baltra y 8,2° en Callao.

Durante febrero de 1998 las masas oceánicas con temperatura superior a 28° continuaban cubriendo todo el Pacífico Ecuatorial. Las anomalías de la TSM superior a + 2" se situaban al Este de 170°W y superior a + 3 al Este de 140°W en el Pacífico Ecuatorial, mientras que en el Pacífico Oriental las anomalías de la TSM disminuyeron ligeramente (BAC, n° 89). El nivel del mar a lo largo de la costa sudamericana y al norte del paralelo de Lima continuaba disminuyendo, después de haber logrado sus valores máximos a comienzos de diciembre de 1997: los promedios mensuales de las anomalías del nivel del mar en Baltra y Callao fueron de 20,2° y 14,7° cm, respectivamente.

Se ha mantenido el proceso de normalización de las anomalías de la TSM en el Pacífico Ecuatorial. En la figura 1, que muestra la evolución semanal de las anomalías de la TSM en las regiones Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 y Niño 1 + 2, *«se observa que durante marzo y la primera semana de abril continuaban disminuyendo las anomalías positivas de la TSM en el Pacífico Occidental y Central. En particular, en la región Niño 4 la anomalía media de marzo fue de 0,57°, disminuyendo a + 0,2" a principios de abril; en la región Niño 3 la anomalía media fue +2,24° durante marzo, disminuyendo levemente durante las semanas más recientes»* (ACEITUNO y MONTECINOS, 1998).

Así pues, en marzo de 1998 continuaron prevaleciendo las condiciones anómalas en el Pacífico Ecuatorial Oriental y muy singularmente a lo largo de las costas de Ecuador y Perú donde la TSM mostraba anomalías superiores a + 3"; las anomalías de la TSM superiores a +2° se encontraban al Este de 140° W. Se observaron anomalías positivas de la TSM de 3,4° frente a la costa de Sudamérica y al norte de 12" S, y las máximas anomalías de la TSM variaron entre 4° y 7,5°. Según la NOAA/AOML se apreciaron en períodos cortos, máximas anomalías de la TSM en Baltra y Callao de 3,9° y 5,4°, respectivamente. Los promedios mensuales de las anomalías del nivel del mar en Baltra y Callao fueron de 16,4 y 10,2 centímetros. En Paíta, el valor medio de la TSM durante marzo alcanzó 29,3° (7,3° sobre la normal), no obstante la temperatura del mar ha descendido por debajo de los 27" en las semanas posteriores, 25,5° se registró el 13 de abril de 1998. Tal situación es coherente con los datos que revelan *«una intensificación de los vientos alisios, de un descenso de la humedad relativa y de la precipitación, así como de un proceso de normalización de las temperaturas sub-superficiales»* (ACEITUNO y MONTECINOS). Las temperaturas mostraron valores superiores a 28" en todo el Pacífico Ecuatorial lo que ha seguido favoreciendo la intensa actividad convectiva. Más significativo que las anomalías superficiales de la temperatura son las subsuperficiales: a lo largo del meridiano 95" W y entre 4° N y 8° S durante marzo, se observaron anomalías de más de 5" —a 200 metros de profundidad— y que serían indicativas de un avance más lento hacia condiciones normales a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, lo que seguirá afectando negativamente al sector pesquero de ambos países (CORNEJO, 1998). Sin embargo, la termoclina ha experimentado un ascenso en todo el Pacífico Ecuatorial, más definido en el Pacífico Ecuatorial oriental donde en ciertos casos ha reaparecido la termoclina estacional y la permanente (BAC, n° 90, Marzo, 1998).

## B. Anomalías atmosféricas durante 1997 y 1998

El Índice de Oscilación del Sur representa el cambio de altas a bajas presiones que se origina en los polos de la celda de Walker durante los episodios cálidos de EL NIÑO y puede considerarse como la componente atmosférica del fenómeno. Aunque el Índice de Oscilación del Sur, basado en la anomalía de la diferencia en las presiones atmosféricas medias mensuales entre Tahití (Polinesia francesa) y Darwin (Norte de Australia), es utilizado internacionalmente por la comunidad científica como indicador cuantitativo del fenómeno, posee, no obstante, a algunas deficiencias inherentes a su propia definición. Preferentemente en cuanto al hecho de que anomalías de la presión atmosférica en dos observatorios puntuales no tienen siempre que reflejar las condiciones meteorológicas de la atmósfera en un espacio geográfico tan extenso es el Dominio Ecuatorial y Subecuatorial (entendiendo por tal, la región oceánicas entre 10° N y 10° S).

Por todo ello suelen analizarse diversos índices que desde otras perspectivas suelen reflejar y aclarar el comportamiento del fenómeno ENSO.

Durante 1997 y 1998, el Índice de Oscilación del Sur mostró valores negativos, inferiores a los registrados durante el episodio de 1982-1983.

**CUADRO 1**  
Diferencias de la Presión Atmosférica entre Tahití y Darwin  
(IOS).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	2,2	-0,1	0,1	- 0,3	-1,1	-2,6	-3,2	-4	-3,3	-3,6	-5	-4,4
1983	-6,9	-7,6	-5,6	-2,2	0,7	-0,5	-1,3	-0,3	1,7	0,4		
1997	0,8	2,6	-1,9	-1,4	-3	-3,2	-1,7	-3,4	-2,4	-3,1	-2,3	-2
1998	-3,2	-2,7	-3,6									

(IOS = 0 significa condiciones normales; por debajo o por encima, condiciones anómalas - o +)

Mientras que durante el episodio de 1982-1983 las regiones sinópticas próximas a Tahití y Darwin contribuyeron muy equiparablemente en determinar la intensidad del fenómeno, en el evento actual 1997-1998, el IOS con valores muy por debajo al de 1982-1983, la casi total intensidad del mismo está siendo provocado únicamente por la presión atmosférica en Darwin, ya que en Tahití la presión prácticamente se ha mostrado inalterable y con valores, grosso modo, casi normales. Durante el año 1997 el Índice de Oscilación del Sur (IOS) mostró sus valores más bajos en junio (-2,7) y agosto (-2,1), incrementándose a partir de septiembre; en octubre se anotaba (-1,8) y a finales de año (-1,2), a consecuencia de las altas presiones en Darwin (Pacífico Occidental). Sin embargo a comienzos del año 1998 se incrementaba negativamente (-3,3 en enero), valor equiparable al observado en 1983, continuando con rangos negativos inferiores al promedio en febrero (-2,7). Por tercer mes consecutivo el Índice de Oscilación del Sur mostraba un fuerte valor negativo (-3,6), el más bajo desde que se inició el fenómeno en marzo de

1997. Las anomalías de la presión atmosférica a nivel del mar observada en Tahití y Darwin fueron de -3,0 mb y 2,6 mb, respectivamente (BAC, n° 90, 1998).

Un índice, hoy día, muy utilizado por la NOAA, como indicador de la intensidad del fenómeno de EL NIÑO es el viento (dirección e intensidad) en el Pacífico ecuatorial. Se han definido índices que actúan como indicadores de la intensidad de los alisios en tres sectores del Pacífico Ecuatorial entre 5° N y 5° S: Región Occidental (135° E y 180° W); Región Central (175° W y 140° W); Región Oriental (135° W y 120° W). (Índice de Vientos: 0 significa condiciones normales, mientras que valores positivos indican vientos anómalos del Este y valores negativos vientos anómalos del Oeste).

Durante 1997 y hasta marzo de 1998 los valores han sido de rango similar al episodio de 1982-1983; tanto en las regiones Central, Occidental como Oriental del Pacífico ecuatorial.

CUADRO 2  
Índice de vientos en el Océano Pacífico Central  
(175° W- 140° W)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	1,7	0,2	0,0	-0,7	-1,6	-1,5	-1,4	-2,1	-5,2	-6,6	-8	-7,3
1983	-6,5	-5,7	-7,7	-7	-4,4	-2,1	0,1	1,7	2,4			
1997	0,3	3,2	-0,7	-1	-1,2	-6,2	-1,4	-5,2	-7,2	-10,5	-7,4	-4,8
1998												

CUADRO 3  
Índice de vientos el Océano Pacífico Occidental  
(135° W- 180° W)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	1	-0,3	-2	-0,6	-1,5	-2,5	-4,2	-5,7	-4,8	-3,9	-4,2	2,1
1983	-0,6	0,8	-0,3	1	-0,1	-0,3	1,1	1,6	1,4	1,1	1	2,5
1997	-0,5	2,1	-6,5	-3,4	-3,5	-3	-1	-5,6	-4,6	-5,6	1,1	0,4
1998												

CUADRO 4  
Índice de vientos en el Océano Pacífico Oriental  
(135° W - 120° W)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	0,8	1,6	1,4	-0,4	0,1	0,2	0,5	1,3	-1,5	-1,4	-2,9	-4,4
1983	-4,8	-5	-6,7	-5,4	-6,7	-3,1	-1,5	1	2	2,2	1,3	2,2
1997	-1	1,3	-0,2	-1,2	-0,5	-5,1	-1,6	-3,1	-5,1	-6,5	-6,8	-4,9
1998												

Fuente: NCEP/NWS/NOAA/USA.

Las anomalías negativas de los vientos alisios han disminuído durante marzo de 1998, ligeramente en el pacífico Ecuatorial Oriental, continuando inalterable en el Pacífico Ecuatorial Central respecto a febrero, mientras que en el Pacífico Ecuatorial Occidental los vientos estaban dentro de sus valores normales (BAC, n° 90); se observaron vientos anómalos del Oeste a mediados y finales de marzo en el pacífico ecuatorial oriental, al oeste de 130° W, que se han visto fortalecidos por anomalías en la estructura vertical de la atmósfera y concretamente en los vientos de niveles altos. No obstante a partir de mediados de marzo, «*coherente con la disminución de las anomalías de la TSM los vientos alisios han aumentado en intensidad a lo largo del Pacífico Ecuatorial (entre 160° E y 100° W)*» (ACEITUNO y MONTECINOS).

Otro Índice que refleja otra de las características de la componente atmosférica del episodio cálido de ENSO, es la denominada Radiación Emergente en Onda Larga («*Outgoing Longwave Radiation*» OLR). Este índice presenta una correlación alta con los procesos convectivos asociados a la ZCIT y por consiguiente con las anomalías estimadas de la precipitación y muy singularmente en los territorios sudamericanos de Ecuador y Perú (donde el fenómeno se manifiesta de manera paradigmática, por ser su epicentro). Tal parámetro es obtenido a través de los satélites meteorológicos norteamericanos y se ha generalizado su uso como una excelente señal de la precipitación en Perú y Ecuador. Los valores negativos de este índice (OLR) representan anomalías positivas de precipitación; mientras que valores positivos del índice son indicativos de anomalías negativas de precipitación.

Como respuesta al anómalo calentamiento del Pacífico Ecuatorial en sus sectores Central y Oriental (a partir de abril de 1997), una de las regiones de mayor precipitación del mundo (Pacífico Ecuatorial Occidental) se desplazaba desde Indonesia hacia el meridiano de cambio de fecha y al mismo tiempo una nueva celda de precipitación convectiva aparecía frente al litoral de Ecuador y norte de Perú. La convección atmosférica encima del océano se produce con temperaturas del agua igual o superior a 28°, lo que trae consigo un desplazamiento de celdas singulares de la circulación de Walker hacia el Pacífico Ecuatorial Suroriental y el movimiento ascendente de convección generalizada que le caracteriza (ARNTZ y FAHRBACH). A pesar de lo inusual del calentamiento (superior a 4°), debido a la época del año en que se ha producido (invierno austral) la atmósfera ha mitigado el impacto de dicho calentamiento y no ha provocado lluvias intensas en Ecuador y norte peruano, como es habitual cuando EL NIÑO ocurre dentro de la estación cálida lluviosa (diciembre a abril). Sin embargo, a partir de la segunda quinceña de noviembre de 1997, la ZCIT, comenzó a provocar precipitaciones torrenciales e inundaciones en las costas de Ecuador, extendiéndose a los departamentos de Tumbes y Piura (Perú) en el mes de diciembre de 1997; inundaciones que se han prolongado hasta abril de 1998, y que han sido devastadoras en Perú, Ecuador, Bolivia y otros territorios sudamericanos.

Durante el invierno y primavera australes la ZCIT mostraba un desarrollo de moderado a intenso y un anómalo desplazamiento al Sur en el Pacífico Ecuatorial Central, situándose al Sur de su posición habitual (10° N) y en el flanco septentrional de las aguas cálidas ecuatoriales, e incluso ocasionalmente de manera aislada entre 3° y 10° N. Los procesos convectivos asociados a la ZCIT en la región del Pacífico Ecuatorial Central se **intensifi-**

caron como lo corrobora el Índice de la radiación de Onda Larga Emergente entre  $160^{\circ}$  W y  $160^{\circ}$  E que fue de -2,5 en octubre, comparable a lo observado durante los episodios de El NIÑO de 1982 y 1992 (BAC, n° 85). A finales de octubre se notaba un anómalo desplazamiento al Sur de la ZCIT en el Pacífico Ecuatorial Central, a los  $180^{\circ}$  W donde alcanza  $1^{\circ}$  N. En los meses de noviembre y diciembre se dieron anomalías negativas altas de los vientos alisios en el Pacífico Oriental y Central, mientras que eran ligeramente positivas en el Pacífico Occidental. Los procesos convectivos asociados a la ZCIT se intensificaron considerablemente desde comienzos de noviembre a finales de diciembre de 1997; el Índice de Radiación de Onda Larga Emergente entre  $160^{\circ}$  E y  $160^{\circ}$  W fue de 0,0 en noviembre y de 1,1 en diciembre.

Durante los meses de enero y febrero de 1998 en pleno verano austral, la actividad convectiva, evaluada a través del OLR, mantuvo su fase negativa (-0,4 y -0.1 en enero y febrero, respectivamente). Por lo que la ZCIT sobre el Pacífico oriental osciló entre  $2^{\circ}$  N y  $5^{\circ}$  S, con moderada intensidad ocasionando precipitaciones significativas en Ecuador y norte de Perú.

Durante el mes de marzo continuaron la intensificación de los procesos convectivos y las precipitaciones en el pacífico Ecuatorial Oriental y Central. El Índice de la Radiación de Onda larga Emergente entre  $160^{\circ}$  E y  $160^{\circ}$  W fue de 0,5. El ramal sur de la bifurcación de la ZCIT se mostraba lento en su ascenso hacia el Norte, habiendo ocupado en la primera semana del mes hasta los  $8^{\circ}$  S. La coincidencia simultánea de la fase de madurez del fenómeno y el punto más crítico de la estación húmeda en Ecuador acaecidos, en el primer trimestre de 1998, ocasionaron que la TSM alcanzara los  $30^{\circ}$ , lo cual redundó en lluvias generalizadas y persistentes sin precedentes en toda la costa ecuatoriana (BAC, n° 90, 1998).

Hasta finales de febrero de 1998 se mantuvo con gran persistencia el contraste entre las anomalías positivas de Radiación Infrarroja emergente sobre el Pacífico Ecuatorial Occidental (Indonesia y áreas próximas), lo cual evidenciaba un escaso desarrollo de nubosidad convectiva, y las precipitaciones que conlleva, y por tanto un déficit pluviométrico que se prolongaba por más de cinco meses. Mientras que las anomalías negativas de la radiación infrarroja emergente en el pacífico Ecuatorial al Este del meridiano de cambio de fecha, la nubosidad convectiva y las precipitaciones fueron superiores a lo normal; no obstante la disminución en la magnitud de las anomalías negativas del RIE en esta zona transcurre paralelo a la declinación general de la intensidad de EL NIÑO (ACEITUNO y MONTECINOS). En cambio durante marzo de 1998, el RIE en el pacífico ecuatorial próximo a la línea de cambio de fecha, presentó un valor positivo +0,5, el primero desde que se inició el evento en marzo de 1997, lo que viene a confirmar el proceso de normalización del sistema atmósfera-oceano en el pacífico Ecuatorial en sus sectores central y oriental.

## ALTERACIONES CLIMÁTICAS A CONSECUENCIA DE EL NIÑO 1997-1998

El impacto de EL NIÑO a nivel mundial es señalado como una conexión entre el calentamiento anómalo de las aguas superficiales en el Pacífico Ecuatorial y el clima alrededor del mundo (GLANTZ, 1997 b). La mayor parte de las variabilidades interanuales

observadas en el mundo Intertropical y una parte significativa de la variabilidad del mundo Extratropical de ambos hemisferios está relacionada y enlazada con ENSO (TRENBERTH, 1997 a), su impacto es más fuerte en América Latina, Océanos Pacífico e Índico y África.

Los efectos medioambientales y climáticos de EL NIÑO se están convirtiendo en un duro pulso para la comunidad científica. El cambio climático global y su impacto regional deben tener prioridad en las investigaciones climáticas, pues se evidencian ciertas señales que sugieren que el incremento térmico de la Tierra inducido por el efecto invernadero, a causa de las actividades humanas podría provocar la ocurrencia de episodios EL NIÑO más extremos y frecuentes, con las consecuentes repercusiones hidrológicas para diferentes latitudes de la Tierra (YESID et al., 1997). La crisis climática actual está siendo foco de atención por parte de la comunidad científica internacional, en un intento de comprender el comportamiento de las posibles tendencias del sistema climático terrestre y, en donde el fenómeno ENSO tendrá mucho que decir. Voces prestigiosas del mundo científico se han alzado en este sentido y están incidiendo en los gobernantes de las grandes potencias industriales y Organismos Internacionales (PNUMA, OMM, UNESCO, BANCO MUNDIAL) como recientemente ha acontecido con las medidas tomadas, aun insuficientes, por la Conferencia Mundial del Clima, clausurada en Kioto (diciembre de 1997) para reducir los gases con efecto invernadero.

Existen evidencias que apuntan a un calentamiento térmico a escala global de la Tierra en los últimos 20 años, sin embargo está dentro de la fluctuación natural de la propia definición de Clima (MABRES et al., 1993). Así pues es una realidad que en las postrimerías del siglo XX la atmósfera terrestre está profundamente alterada como demuestran las desviaciones de diferentes parámetros meteorológicos, sobre todo precipitaciones, temperaturas y presión atmosférica en sus condiciones de promedio en las últimas dos décadas. Alteración debida no solo a las actividades humanas sino también a factores exclusivamente naturales, entre todos ellos un papel preponderante ha pasado a ocuparlo, hoy días, EL NIÑO, a consecuencia del calentamiento errático del Pacífico.

## EN LA ZONA INTERTROPICAL

En la zona Intertropical el fenómeno ENSO va asociado a alteraciones importantes en las precipitaciones, así como también, en las temperaturas y presión atmosférica. Así, se ha incrementado notablemente la precipitación en el Pacífico Ecuatorial Oriental y Central entre 10° N y 5° S. Se ha producido alteraciones climáticas en la costa occidental de Sudamérica, anotándose anomalías térmicas de hasta 7° en Lima par el mes de diciembre de 1997 y de 8" en Paita en enero de 1998.

Sequías intensas se registraron en el flanco occidental de Bolivia, Venezuela, Colombia, Guayanas y cuenca del río Amazonas, preferentemente en su flanco septentrional, archipiélago de las Filipinas, Pakistán, Tailandia, Laos, Camboya, extremo meridional de China, Malasia, Australia e Indonesia. América Central padeció una fuerte carencia hídrica que ha extendido la estación seca. En Panamá la sequía ha provocado la restricción en el calado de los buques que puede cruzar el canal (febrero de 1998). Honduras soportó altas temperaturas y una fuerte sequía, lo que propició cuantiosos incendios forestales (1.127

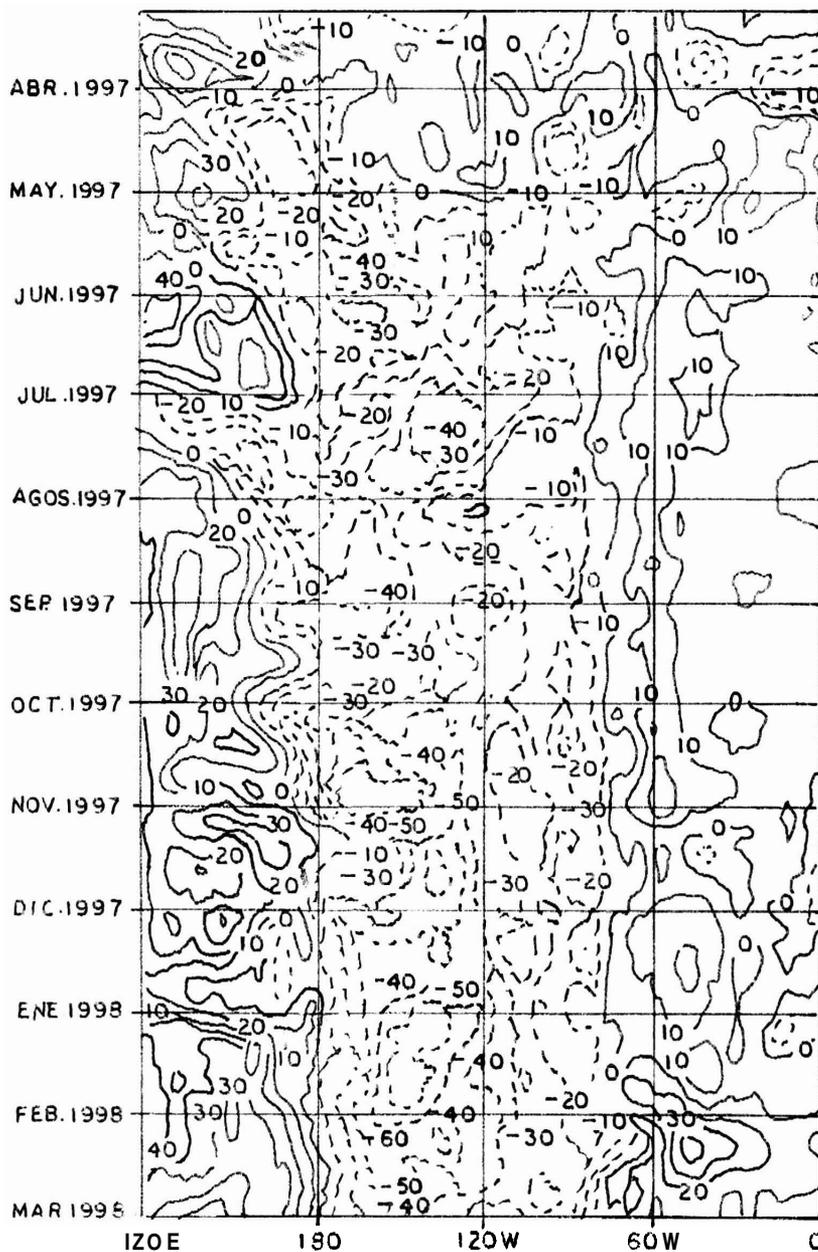


FIGURA II. Evolución de las anomalías de Radiación Infrarroja Emergente en la banda ecuatorial (5° N-5° S) a partir de promedios semanales (Desde el comienzo del fenómeno EL NIÑO, marzo de 1997 hasta el 4 de marzo de 1998) (Actualizada, a 4 de marzo de 1998) Fuente: Centro de Pronóstico Climático/ NCEP. USA.

incendios durante los meses de enero y febrero de 1998); Guatemala se ha visto igualmente sacudida por los incendios y las altas temperaturas. El Salvador y Nicaragua soportaron una fuerte sequía que se extendió a la vertiente pacífica de Costa Rica.

Otros ejemplos de estas manifestaciones inducidas por EL NIÑO fueron los gigantes incendios de Indonesia durante agosto y septiembre y una elevada contaminación atmosférica a consecuencia del humo al quemarse la densa cobertura vegetal (perdiéndose casi un millón de has de pluvsilva ecuatorial); incendios también tuvieron lugar en la Amazonia, en su flanco septentrional, a causa de las altas temperaturas y la prolongada sequía. Las aguas anormalmente cálidas del Pacífico tropical Central y Oriental contribuyeron a la formación de ciclones tropicales muy fuertes que afectaron al archipiélago de las Hawaii. Intensos ciclones tropicales que se desarrollaron en las cercanías del golfo de Tehuantepec —Nora y Pauline— afectaron a los estados pacíficos de México, sobre todo, Guerrero y Colima. En cambio sobre el Océano Atlántico disminuyeron ostensiblemente el número de tormentas tropicales (sólo 7), tres de los cuales se convirtieron en ciclones tropicales «huracanes». En el Pacífico Occidental han disminuido en 1997 los ciclones tropicales, desapareciendo en la práctica sobre las Islas Filipinas, Laos y Camboya.

Fuertes nevadas se han originado en los Estados de Jalisco, Michoacán y Sinaloa (México).

Lluvias torrenciales se produjeron en el flanco oriental de Bolivia, Paraguay y norte de Argentina.

Durante enero de 1998 anomalías de precipitación con rango superior a 200 mm, acontecieron en la costa de Ecuador y norte de Perú, Pacífico Ecuatorial Central (entre 130° WW y 170° E), África Oriental (Kenia, Norte de Zanzania, norte de Madagascar y Mozambique). Características pluviales que continuaron durante el mes de febrero, según el informe de la «National Oceanic Atmospheric Association» (NOAA), del 10-III-1998: las precipitaciones fueron muy superiores al promedio normal en casi todo el Pacífico Ecuatorial Central y Oriental, mientras que sobre el Pacífico Ecuatorial Occidental e Indonesia había una fuerte sequía. Tendencia que ha persistido en esta zona del Pacífico desde junio de 1997. Las precipitaciones han sido cuantiosas en el Océano Índico Occidental y en la costa oriental de África, donde las intensas precipitaciones desde noviembre de 1997 excedieron los 1.000 mm en regiones de Kenia. Mientras que en ese mismo período (Diciembre de 1997 a Marzo de 1998) se observaron:

INDONESIA (déficit de 800 mm)

SUR DE ÁFRICA (déficit de 300 mm)

NORTE DEL LITORAL DE PERÚ Y COSTA DE ECUADOR

(exceso de 1.400 mm)

SE DE SUDAMÉRICA (exceso de 600 mm)

NORTE DE AMÉRICA DEL SUR (déficit de 500 mm)

Durante febrero de 1998 el centro y noroeste de la Península de Florida fueron afectados por la presencia de al menos 6 tomados, con vientos superiores a 340 km/h. En Bolivia durante el mes de febrero el deslizamiento de una ladera sepultó a 100 personas en el municipio minero aurífero de Mokotoro, a consecuencia de intensas lluvias; según la Dirección de Defensa Civil medio millón de personas fueron afectadas por inundaciones, sequías y heladas desde noviembre de 1997 hasta la segunda quincena de febrero de 1998,

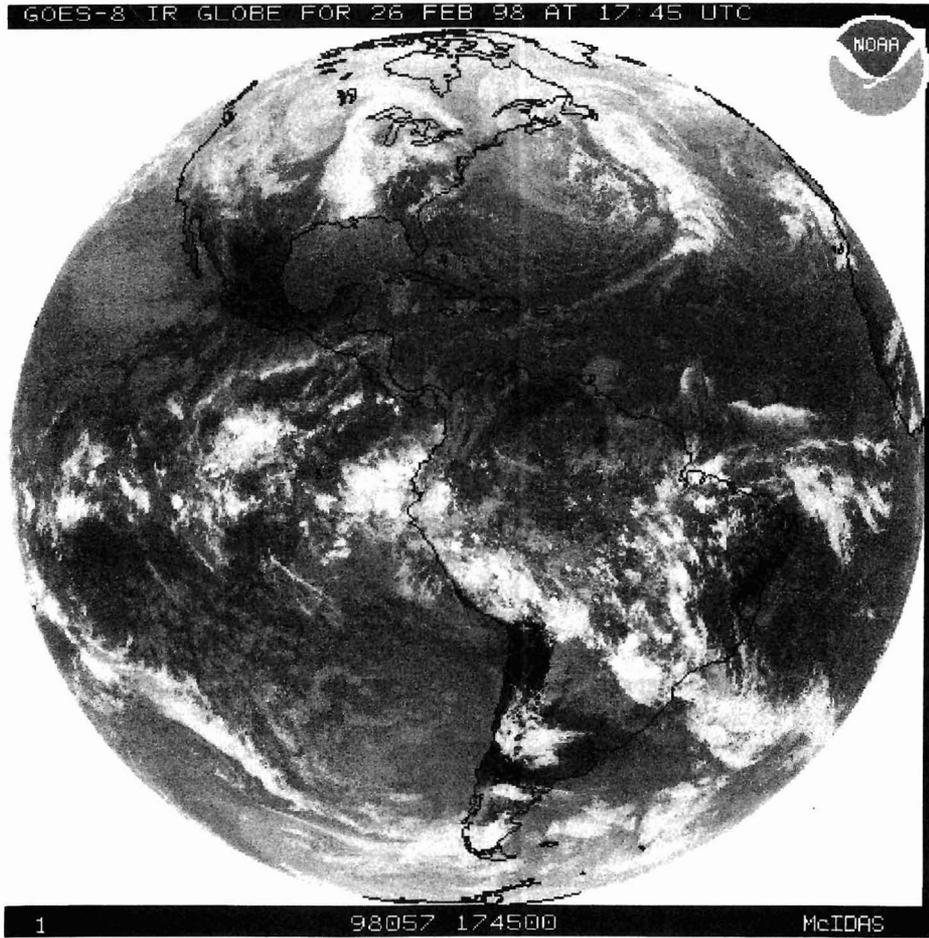


FIGURA III. Imagen total en canal infrarrojo de GOES-8, del 26/11/1998, a las 17:45 UTC. Se aprecia la bifurcación de la ZCIT, en el Pacífico Ecuatorial Oriental, igualmente el ramal meridional de la bifurcación mostraba un desplazamiento anómalo hacia el Sur (8° S) en las costas occidentales de Sudamérica, afectando al Norte y Noroeste de Perú.

produciéndose inmigraciones de miles de campesinos en Potosí hacia las ciudades, debido a que las sequías inducidas por EL NIÑO destruyeron sus cultivos (EL COMERCIO, Lima, 28-II-1998).

En África Oriental, más de un millón de personas se han visto afectadas por graves inundaciones y han dependido de la ayuda de emergencia de la Comunidad Internacional, tras nuevas e intensas lluvias en amplios territorios de la región en noviembre de 1997. Unas 2.000 personas murieron en Somalia, Etiopía y Kenia ahogadas o debido a enfermedades agravadas por las inundaciones como la malaria y el cólera, a consecuencia de EL

NIÑO, según fuentes facilitadas por la Organización de Naciones Unidas para Asuntos Humanitarios, Nairobi, Kenia (29/XI/1997).

En los Andes Centrales peruanos (departamento de Cusco), un gigantesco embalse provocado por un alud originado en el mítico nevado Salcantay y que desembocó en el río Vilcanota por la quebrada de Aobamba, sepultó el 27 de febrero de 1998 la Central Hidroeléctrica de Machu Picchu, una de las 15 más grandes del Perú (diseñada para generar 110 megavatios). El desastre natural no fue producto de las lluvias, sino por las altas temperaturas de EL NIÑO que ha provocado el aceleramiento del deshielo del glaciar Salcantay.

En el flanco meridional del desierto litoral peruano, en la ciudad de Ica (con tan sólo 5 mm. de precipitación anual), las fuertes lluvias que tuvieron lugar en los Andes provocó un inesperado desbordamiento del río Ica (660 metros cúbicos por segundo, de agua lodosa o «yapana») el día 29 de enero de 1998, inundando la mayor parte de la ciudad de 300.000 habitantes, colapsándose su alcantarillado, perdiéndose 7.000 has de cultivos de regadío y dañándose el 80% de las viviendas, comercios y servicios públicos. El río Ica está hoy día estrangulado por la ciudad, el cual fluye por el caso urbano a través de un lecho canalizado de 20-25 metros de ancho, pendiente de 211000 y 2,5 metros de profundidad, y **permite** un flujo máximo de 250 metros cúbicos por segundo. Debido a la sedimentación y al hecho de ocupar un cauce artificial, el lecho del río se sitúa 3 a 4 metros más elevado que el centro de la ciudad y **barrios** periféricos; sedimentos que van colmatando constantemente el lecho al mismo tiempo que lo elevan. Hasta la década de los años 60, existían dos canales que actuaban como aliviaderos en momentos de avenidas, corriendo paralelos a ambas márgenes del río: «La Poruma» por el Oeste y de «La Toledo» por el Este. En la actualidad, tales cauces de canales han sido ocupados por viviendas y diversas construcciones, como consecuencia de un crecimiento caótico e improvisado de la ciudad, posibilitado y, cuando no, promovido incluso por la **municipalidad** (PÁVEZ, 1998).

Inundaciones catastróficas sufrieron las ciudades de **Trujillo**, Lambayeque, Talara y Paita.

EL NIÑO ha causado cuantiosas precipitaciones en las regiones **costeras** de Ecuador y norte de Perú, donde la ciudad de Talara registró el 18 de marzo de 1998, un total de 272,8 mm de precipitación o sea casi cinco veces más la cantidad de precipitaciones normales de un año (65 mm, período 1961-1990). Según un balance efectuado hasta el 20/febrero/1998 por el Centro de Prevención de Desastres de Lima (PREDES), en Perú serían 304.937 el n° de personas afectadas por EL NIÑO de las cuales 135.724 damnificados se concentraron en la ciudad sureña de Ica, tras la gran inundación de enero. El segundo lugar la ciudad de Lambayeque con 45.945 individuos. Seguido de Tumbes con 44.875 personas, Piura con 22.300 personas afectadas y La Libertad con 13.430 personas. El n° de muertos ascendía a 203, destruidas 19.000 viviendas y afectadas 106.900. Se destruyeron 43.440 has de cultivo, de las que el 40% se ubican en el departamento de Tumbes. Las inundaciones han provocado la destrucción de 114 puentes, algunos centenarios, como el puente de San Miguel de Piura, conocido por los lugareños como «Puente Viejo», proyecto inglés que databa de 1891.



FIGURA IV. En Piura, el tradicional «Puente Viejo» fue arrastrado el 12/marzo/1998, por la crecida del río Piura que alcanzó un caudal histórico de 4.424 metros cúbicos por segundo. (El Comercio, Lima, 15/III/marzo/1998).

#### Efectos en norte de Perú (**Piura** y Tumbes)

Durante los meses de enero, febrero y marzo de 1998, los departamentos de Tumbes y Piura han soportado lluvias intensas que han provocado desbordamientos fabulosos de sus ríos (Tumbes, **Zarumilla**, Chira, Piura, Chicama), afectando a importantes núcleos urbanos, con pérdidas de vidas humanas, infraestructura y sector agrario. Únicamente en los accidentes relacionados con EL NIÑO, caída de puentes terrestres y del avión Antonov de la FAP, perdieron la vida 50 personas, al mismo tiempo que 130.000 personas quedaron sin agua potable en la ciudad de Talara por la rotura del eje Paita-Talara. Las fuertes precipitaciones y crecidas del río Piura ha provocado el derrumbe de dos puentes, el puente de San Miguel «**El Viejo**» y el puente Francisco Bolognesi, a su paso por la capital de Piura, provocando numerosos muertos (unos 25 peatones que transitaban en ese momento y unos 6 vehículos que se precipitaron al agua, arrastrados por la corriente); así como el puente de Carrasquillo en **Morropón** y Simón Rodríguez en **Amatope**, por el que pasa el río Chira. Una gran tormenta de más de 6 horas de precipitación continua en el curso alto del río Piura (el observatorio de **Malacasi** registró 251 mm) fue el factor que propició que el río Piura a su paso por la ciudad fundada por Francisco Pizarro en 1532 llevase un caudal en punta de 4.424 metros cúbicos por segundo (el mayor de su historia) el día 12 de marzo de 1998, arrastrando el socavado puente Bolognesi (CIPCA, 1998) El río Tumbes desbordado en numerosas ocasiones (pues siempre es el territorio más castigado por las lluvias intensas de EL NIÑO) llegó a llevar hasta 3.100 metros cúbicos por

segundo y el río Chira, hasta 3.200. Entre las lluvias máximas en 24 horas, destacan 210 mm en Sullana (20-E-98) y 220 mm en Tumbes (10-E-1998).

## EN LAS ZONAS TEMPLADAS Y FRÍAS

Mientras que en los Trópicos los impactos del fenómeno **ENSO** son manifiestos, sus efectos en las medias y altas latitudes son más variables, a consecuencia de que la circulación atmosférica en las regiones extratropicales pueden anular las influencias de **ENSO** de los trópicos. No obstante, «*cambios sistemáticos en la corriente en chorro y en las rutas de las tormentas tienden a ocurrir generalmente*» (TRENBERTH, 1997 a), lo que posibilita su predicción, aunque con cierto nivel de incertidumbre.

Las señales inducidas por **EL NIÑO** parecen mucho más eficaces en el continente norteamericano que en Asia y Europa donde las correlaciones indican un alto grado de incertidumbre. En América del Norte, las precipitaciones fueron muy superiores al promedio en toda la vertiente pacífica, incluyendo las costas de Alaska. Singularmente intensas han sido en los Estados de Oregón, Washington y California. Entre diciembre de 1997 y marzo de 1998, perturbaciones del Frente Polar Pacífico, asociado a un Jet Stream «**EL NIÑO**» que discurría a muy baja latitud, provocó violentas tormentas, intensos vientos y lluvias torrenciales que han asolado las costas de California y Baja California (México), con olas de hasta 10 metros, con daños valorados en infraestructuras de más de 500 millones de dólares, así como la pérdida de más de 30 vidas humanas, en California, Tijuana y Rosarito.

En el NE de USA soportó uno de los inviernos más suaves de los últimos 30 años, con anomalías positivas para el mes de enero superior a 4° en Nueva York y Boston. Fuertes precipitaciones en todo el flanco Sur y SE de Usa. Intensas nevadas fuera de temporada invernal se dieron en el SW de USA (octubre de 1997, Denver).

Intensas lluvias se han dado en febrero y marzo de 1998 en Uruguay y SE de Brasil. En el NW de Uruguay, se registraron en 24 horas, hasta 360 mm.

**EL NIÑO** durante 1997 ha provocado inundaciones en Europa (Polonia, Portugal, España e Italia), Asia (oeste de la India) y América del Sur, especialmente en el SE de Brasil, Río Grande del Sur. Algunos autores consideran que el reciente incremento de las lluvias en España son una evidencia de la señal de **EL NIÑO** (CAVESTANY, 1997). Para Nicolás Graham el otoño tan húmedo de 1997 en la P. Ibérica fue provocada por **EL NIÑO**.

## PERSPECTIVAS FUTURAS

Cuando acabamos de realizar este artículo de investigación, 30 de abril de 1998, algunos índices de evaluación (Anomalías normalizadas de la presión atmosférica en Tahití y Darwin; Anomalías de la TSM, Intensidad y Dirección de vientos, Radiación emergente en onda larga) mostraban que el actual episodio **EL NIÑO** 1997-1998 estaba declinando en su intensidad, con comportamiento parecido al **NIÑO** 1982-1983. Estos modelos de predicción indicaban que esta pauta de comportamiento continuará durante los próximos meses, aunque no coincidentes en el rango de declinación, manteniéndose pues

un alto grado de incertidumbre sobre las condiciones oceánico-atmosféricas a lo largo del invierno austral. El modelo dinámico del NCEP/NOAA preve un decrecimiento, persistiendo anomalías muy débiles de la TSM en el Pacífico Ecuatorial. Tanto el modelo dinámico-estadístico desarrollado conjuntamente por Scripps y el Instituto Max-Planck, como el modelo estadístico elaborado por el Climate Diagnostic Center (CIRES-NOAA) y los dos modelos estadísticos del NCEP/NOAA (método de análogos y de análisis de correlación canónica), predicen una evolución hacia un episodio «LA NIÑA», a partir de la primavera austral de 1998 (ACEITUNO y MONTECINOS). Durante los meses de invierno del hemisferio Austral (junio a agosto), tales modelos pronostican la vuelta a condiciones oceanográficas en el Pacífico Ecuatorial de normales o ligeramente negativas, en cuanto a las anomalías presumibles de la TSM.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEITUNO, P. (1997): «Evolución actual del evento EL NIÑO, 1997». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador.
- ACEITUNO, P. Y MONTECINOS, A. (1998): Boletín Climático, 1998, n° 2 y 3-febrero y marzo. Sección Meteorología. Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.
- ARNTZ, W. y FAHRBACH, E. (1996): «EL NIÑO experimento climático de la Naturaleza». Fondo de Cultura Económica, México.
- BAC. (1997-1998): Boletín de Alerta Climático. Estudio regional del Fenómeno El Niño (ERFEN). Dirección de Hidrografía y Navegación. Marina de Guerra del Perú.
- BJERKNES, J. (1966): «A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean Temperature». Tellus, 18, pp. 820-829.
- CAMPBELL, K.E. (1982): Late Pleistocene events along the coastal plain of northwestern South America. GT. Prance (ed.). Biological Diversification in the tropics. Columbia University Press, New York, pp. 423-440.
- CAVESTANY, J. (1997): «EL NIÑO más terrible. PAIS SEMANAL», n° 1.108.211 Diciembre de 1997.
- CAVIEDES, C.N. (1997): «Respuestas de la Pluviosidad en Sudamérica al Fenómeno EL NIÑO» En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador.
- CIPCA. (1998): Informe Especial COER-Marzo. Fenómeno de EL NIÑO 1997-1998 y Piura.
- CORNEJO, P. y SANTOS, J.C. (1997): Condiciones actuales. EL NIÑO/OSCILACIÓN SUR (ENOS) 1997. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, Ecuador.
- CORNEJO, P. et al. (1998): «Condiciones actuales. El Fenómeno del EL NIÑO/Oscilación del Sur (ENOS) 1997-1998». ESPOL. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Día 13 de Enero.

- CHÁVEZ, F. (1987): «EL NIÑO y la Oscilación del Sur». *Investigación y Ciencia* n° 128, Mayo, pp. 46-55.
- COLGAN, M. W. (1990): «EL NIÑO and the history of eastern Pacific reef building». In: Glynn, P.W. (ed.) *Global ecological consequences of the 1982-1983 EL NIÑO-Southern Oscillation*, Elsevier, Amsterdam, pp. 183-232.
- DE ACOSTA, J. (1987): *Historia Natural y Moral de las Indias*. Ed. Historia 16. Madrid. Edición Fascímul.
- DE URIES, T.J. y PEARCY, W.G. (1982): «Fish debris in sediments of the upwelling Zone of central Peru: a late Quaternary record». *Deep Sea Res.*, Part A, 28:27.
- EGUIGUREN, V. (1894): «Las lluvias en Piura». *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 4 (7-9), pp. 241-258.
- FRANCOU, B. y PIZARRO, L. (1985): «EL NIÑO y la sequía en los Andes centrales (Perú y Bolivia)». *Bulletin de L'Institut Français d'Études Andines*, 14, 1-2, 1-18.
- FRANCOU, B. et al. (1995): «Balances glaciares y clima en Bolivia y Perú. Impacto de los eventos ENSO». En, *Agua, glaciares y cambios climáticos en los Andes tropicales*. Seminario Internacional, 13-16 de junio, 1995, La Paz, Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, Lima, vol. 24, 3, pp. 697-706.
- GLANTZ, M. (1997 a): «EL NIÑO viene...o parece». *Environmental and Societal Impacts Group*. National Center for Atmospheric Research, USA.
- GLANTZ, M. (1997 b): «Porqué preocuparse sobre EL NIÑO». A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives, 20 July-1 August 1997, Boulder, Colorado, USA.
- KAHYA, E. y DRACUP, J. (1993): «U.S. Streamflow Patterns in Relation to the EL NIÑO/Southern Oscillation». *Water Resources Research*, vol. 29, n° 8, august, pp. 2491-2503.
- KALNAY, E. et al. (1996): «The NECEP/NCAR 40-year, Reanalysis Project». *Bulletin of the American Meteorological Society*, Washington, 77, pp. 437-470.
- KLEYPAS, J. (1997): «Los efectos de ENOS en los arrecifes coralinos». A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives. 20 July-1 August 1997, Boulder, Colorado, USA.
- KOUSKY, V.E. et al. (1997): «A review of Southern Oscillation: oceanic, atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies». *Tellus*, 36 (A), pp. 490-501.
- LAGOS, P. (1997 a): «Condiciones climáticas en el mar y en la costa, asociada con EL NIÑO 1997-1998». Centro de Prevención Climática. Instituto Geofísico del Perú, Lima, agosto.
- LAGOS, P. (1997 b): «Condiciones climáticas en el mar y en la costa asociada con EL NIÑO 1997-1998». Instituto Geofísico del Perú, *Boletín de Alerta climático*, n° 86.
- LAGOS, P. (1998): «Condiciones climáticas en el mar y en la costa asociada con EL NIÑO 1997-1997». Instituto Geofísico del Perú, *Boletín de Alerta climático*, n° 87.
- LAITA, M. y GRIMALT, M. (1995): «Podría estar apareciendo indicios del cambio climático en variables dinámicas del Mediterráneo Occidental». *Rev. de Meteorología* *Boletín de la A.M.E.*, Madrid, n° 18/19, Enero/mayo, pp. 23-24.
- MABRES, A. et al. (1993): «Algunos apuntes históricos adicionales sobre la cronología de EL NIÑO». *Bulletin del Inst. Français d'Études Andines*, 22(1), pp. 395-406.

- MAHARE, J. y ORTLIEB, L. (1993): «Registro del fenómeno EL NIÑO en el Perú». Bulletin del Inst. Français d'Études Andines, tome 22, n° 1 Lima, Perú, pp. 35-52.
- MARTÍN, L. et al. (1993): «Southern Oscillation signal in South American paleoclimatic dat of the last 7000 years». Quaternary Research, 39, pp. 338-346.
- MIRANDA, G. (1997): «Influencia del fenómeno EL NIÑO y del Índice de Oscilación del Sur, en el régimen de precipitaciones de Cochabamba». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local». Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador pp. 153-167.
- MOREANO, H.R. (1984): «Manifestaciones de EL NIÑO 1982-1983 en aguas ecuatorianas» Rev. Comisión Permanente del Pacífico Sur, n° 15, pp. 85-94.
- NASH, M.J. (1998): «La cólera de EL NIÑO. El sistema atmosférico del siglo desata estragos en todo el mundo». Rev. Time (para Latinoamérica), febrero, 16.
- PÁVEZ WELLMANN, A. (1998): La inundación de Ica, del desastre al desarrollo. Centro Peruano de Estudios Sociales. CEPES, Lima. Fenómeno EL NIÑO, Ica, 3 de abril, 1998.
- PINTO, M. (1985): «Efectos biológicos de EL NIÑO». Boletín del Grupo de estudio del Medio Ambiente, Universidad de Tarapaca, África, Chile, Vol. 2, n° 3, pp. 10-13.
- POUYAUD, B. et al. (1997): «Contribución del Programa "Nieves y Glaciares Tropicales" (NGT) al conocimiento de la variabilidad climática en los Andes». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del evento EL NIÑO a escala regional y local. Quito, 26-29 de noviembre, pp. 311-319.
- QUINN, W.H. et al. (1987): «EL NIÑO, Occurrences Over the past four and Half Centuries» Journal of Geophysical Research, 92 (C13), pp. 14.449-14.461.
- RAMÍREZ, E. et al. (1997): El glaciar de Chacaltaya (Bolivia, 16° S). Evolución secular de un pequeño glaciar de la cordillera real, Bolivia y escenarios para el futuro. En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del evento EL NIÑO a escala regional y local. Quito, 26-29 de noviembre, pp. 321-326.
- RASMUSSEN, E.M. (1984): «EL NIÑO: the ocean/atmosphere connection», Oceanus 27, pp. 5-12.
- RASMUSSEN, E.M. y CARPENTER, T.H. (1982): «Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern Oscillation/El Niño» Mon. Wea. Rev. 110, pp. 354-84.
- RASMUSSEN, E.M. y HALL, J.M. (1983): «El episodio cálido principal del Pacífico del 1982-1983» Boletín de la Organización Meteorológica Mundial, 4, Volumen 32, Octubre, Ginebra pp. 340-346.
- RIBSTEIN, P. et al. (1997): «Evenements ENSO et Hydrologie de Glaciers en Bolivie». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del evento EL NIÑO a escala regional y local. Quito, 26-29 de noviembre, pp. 327-328.
- RODRÍGUEZ, R. et al. (1993): «Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno EL NIÑO» Bull. Inst. d'Études Andines, 22 (1), pp. 267-281.
- ROSSEL, F. et al. (1997): «Caracterización, tipología y zonificación de las consecuencias pluviométricas de los ENSO en la costa ecuatoriana». En seminario Internacional

- sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local? Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador pp. 119-124.
- SASEENDRAN, S.A. et al. (1997): «Rainfall distribution in India during EL NIÑO years». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador pp. 303-305.
- SENAMHI (1997): «EL NIÑO-Oscilación del Sur» 1997 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima, Octubre, Perú. 47 pp.
- SHEN, GLEN T. (1994): «Reconstruction of EL NIÑO history from reef corals». Bulletin de l'Institut Française d'Études Andines, 1, Grafic Pacific Press, Lima, pp. 125-158.
- THOMPSON, L.G. (1995): «Late Holocene ice core records of climate and environment from the tropical Andes, Perú». Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines, 24 (3), Lima, IFEA, pp. 619-629.
- TRENBERTH, K. (1997 a): El sistema de EL NIÑO-Oscilación del Sur. A Coloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives, 20 July-1 August 1997, Boulder, Colorado, USA.
- TRENBERTH, K. (1997 b): Enos y las variaciones antropogénicas del clima. A Coloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO): Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy, Perspectives, 20 July-1 August, 1997, Boulder, Colorado, USA.
- VILLALBA, R. et al. (1997): Intensificación de la circulación atmosférica meridional en la región subtropical de América del Sur inferida a partir de registros dendrocronológicos». En Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del fenómeno ENSO a escala regional y local, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Quito, 26-29 de noviembre, pp. 67-35.
- WALKER, G.T. (1923): «World Weather» I. Mem. Indian Meteorol. Dep. 24, pp. 75-131.
- WALKER, G.T. y BLISS, E.W. (1932): «World Weather» V. Mem. R. Met. Soc., 4, pp. 53-84.
- WOODMAN, R. (1985): «Recurrencia del fenómeno EL NIÑO con intensidad comparable a la del NIÑO 1982/1983». Ciencia, Tecnología y Agresión Ambiental, El Fenómeno EL NIÑO, Lima, pp. 301-332.
- WOODMAN, R. (1997): «EL NIÑO 1997/1998. Situación reciente y futura». Instituto Geofísico del Perú, Lima, julio.
- WYRTKI, K. (1975): «EL NIÑO: The dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing» J. Phys. Oceanogr. 5, pp. 572-584.
- YESID CARVAJAL, E. et. al. (1997): «Incidencia del fenómeno NIÑO en la hidroclimatología del valle del río Cauca». En seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local». Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). 26/29 Noviembre de 1997. Quito, Ecuador pp. 201-215.