

## **EL NIÑO Y EL CALENTAMIENTO TÉRMICO GLOBAL. EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES Y CLIMÁTICOS**

Dr. D. José Jaime Capel Molina. Catedrático de Geografía Física, Universidad de Almería

Los efectos medioambientales y climáticos de El Niño se están convirtiendo en un duro pulso para la comunidad científica. Su impacto a escala global se ha señalado como una conexión entre el calentamiento anómalo de las aguas superficiales en el Pacífico ecuatorial y el clima alrededor del mundo. La mayor parte de las variabilidades interanuales observadas en el ámbito Intertropical y una parte significativa de la variabilidad del ámbito extratropical de ambos hemisferios están relacionadas y enlazadas con el fenómeno ENSO/El Niño/Oscilación del Sur). El calentamiento global puede alterar muy significativamente el medio ambiente y los climas de los diferentes dominios climáticos del mundo y de ahí que a veces tal calentamiento se confunda e incluso se le identifique con el cambio climático.

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 de invernadero, a causa de las actividades humanas, podría provocar la ocurrencia de episodios de 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 científicos de todo el mundo, en un intento de comprender el comportamiento de las posibles tendencias del sistema climático terrestre, tema en el que el fenómeno ENSO tendrá mucho que enseñarnos. Muchas 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 1997) para reducir los gases con efecto invernadero.

Aunque existen algunas opiniones, muy respetables, en cuanto a la certeza de este calentamiento global, no cabe razonablemente poner en duda que la temperatura de la Tierra está incrementándose, y en dicho caldeoamiento representa un papel importantísimo el efecto invernadero, la retención en la atmósfera terrestre de radiación infrarroja emitida por la Tierra, retención debida a la presencia en proporción creciente de determinados gases, llamados de efecto invernadero. En realidad, la atmósfera está recibiendo una no despreciable cantidad de energía calorífica adicional al menos de la revolución industrial.

Existen evidencias que apuntan a un calentamiento térmico a escala global de la Tierra en los últimos 30 años, sin embargo estaría presumiblemente dentro de la fluctuación natural de la propia definición de Clima (MABRES et al. 1993). Sobre el Planeta se va configurando un recalentamiento ascendente de la temperatura a partir de 1975, acentuándose aún más en los años ochenta y ha continuado en la década de los noventa y en los años que llevamos de siglo XXI, con el año 1998, como el año más cálido del registro. La temperatura media de superficie, basada tanto en medias terrestres como marinas del periodo 1961-1990 aumento en 1998, hasta el máximo valor registrado en el siglo XX (+0, 51°C). 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 (según la OMM, Ginebra).

En el Tercer Informe de evaluación del IPCC (2001), se da como muy probable que, a escala mundial, el decenio de 1990 fuera el periodo más cálido y el año 1998 el más caluroso según los registros instrumentales entre 1860 y 2000 y agrega que el calentamiento de la superficie terrestre durante el siglo XX para el hemisferio norte ha sido probablemente superior al de cualquier otro siglo en el último milenio.

Así pues es una realidad que en los comienzos del siglo XXI la atmósfera terrestre está profundamente alterada, como lo demuestran las desviaciones de distintos parámetros meteorológicos, sobre todo referente a temperaturas, precipitaciones y presión atmosférica, en sus condiciones de promedio en las últimas décadas, en gran parte de los observatorios de la Tierra. Alteración debida presumiblemente no sólo a las actividades humanas, sino también a factores exclusivamente naturales. Entre todos ellos, El Niño ha pasado a desempeñar un papel preponderante, como consecuencia del calentamiento errático del Pacífico. El IPCC, en su tercera evaluación, afirma que: *existen pruebas nuevas y más convincentes de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a actividades humanas. Los estudios de detección atribución han encontrado sistemáticamente pruebas de señales antropogénicas en los registros climáticos de los últimos 35 a 50 años.*

Aunque existe una gran incertidumbre sobre las causas y origen de El Niño, una vez que el fenómeno oceánico-atmosférico se manifiesta, sus impactos se producen en diversos y muy distintos escenarios del planeta. Hasta comienzos de la década de los años ochenta se creía que su impacto era regional, pero la ocurrencia del episodio 1982/1983 (Meganiño) evidenció la existencia de conexiones a escala mundial. Se han percibido sus efectos, sobre todo en las cuencas de los océanos Pacífico e Índico, con alteraciones climáticas ostensibles en algunos parámetros meteorológicos. En cambio en Europa, Asia o África, las correlaciones indican un alto grado de incertidumbre (CAPEL MOLINA 1999).

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 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 un fenómeno más complejo y de gran escala, que si bien se configura en el Pacífico Ecuatorial, los impactos asociados dan la vuelta al

globo, especialmente en los trópicos (GLANZT 1997b) y es una 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" ha sido 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 el fenómeno de El Niño hasta junio de 1998 fueron 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 periodo 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). Anomalía térmica, inmediatamente superada durante el año 1998 (+ 0,51°).

Por todo ello, se ha trabajado sin demora por parte de meteorólogos, climatólogos y oceanógrafos, así como a través de instituciones científicas internacionales prestigiosas como es el caso del Instituto Internacional de Investigaciones para la Predicción Climática (IRI) que engloba la asociación de tres importantes instituciones científicas: Instituto de Oceanografía SCRIPPS, Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de USA (NOAA) y la Mont-Earth Observatory de la Universidad de Columbia. En el IRI se analiza diariamente la información facilitada por los satélites meteorológicos, elaborándose mapas climáticos a través de simulaciones por computadoras, diferentes modelos de predicción. Al mismo tiempo, departamentos universitarios están investigando sobre arrecifes

de coral en el Pacífico Ecuatorial, acerca 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 asociadas a los cambios climáticos originados por el calentamiento global. Las anomalías en diferentes parámetros meteorológicos y desviaciones fuertes están y seguirán apareciendo en diferentes escenarios de la Tierra. Nueva York registró en Central Park 4, 4°C 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 m, lluvias torrenciales y vientos superiores a 120 km/h, los daños en infraestructura se estimaron en 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 de febrero de 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 km/h, 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 4000 personas damnificadas.

Los primeros pasos para la comprensión del fenómeno ENSO tuvieron lugar en 1923, promovidos 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 dio 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 ó FENOS (Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur).

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. 1997). 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. Stahle 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 (NASH 1998).

E incluso el crecimiento de los corales es demostrativo 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 1997); 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 catastrófico, 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 1997). Por otro lado, cuando se origina un ascenso térmico considerable, los corales inmediatamente incorporan más contenido de estroncio hacia sus esqueletos que cuando acontecen condiciones más frías. Su contenido de oxígeno, al mismo tiempo que sus oscilaciones de salinidad dan información sobre la 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 sitúa 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 del 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. Por medio de estudios de paleolimnología, dichos autores demuestran a través de un horizonte estratigráfico de sedimentos de 4.17 m de espesor obtenido en una laguna salobre, ubicada en el cráter de Bainbridge al sureste de la isla de Santiago, una historia detallada de dichas fluctuaciones de salinidad (con datación radiocarbónica -AMS- extensivo con una fecha al fondo de 6170 +/- 55 años); sugiriendo a través de la estratigrafía que la laguna se mantuvo supersaturada con sales a lo largo de su historia con algunos períodos cortos de salinidad más baja que atribuyen a un incremento de la lluvia relacionada con 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. 1994).

Noller, geomorfólogo de la Universidad americana de Vanderbilt, ha estudiado en el desierto de Sechura (Piura) -uno de los enclaves costeros más áridos de la Tierra-, las lluvias torrenciales episódicas. Éstas impactan en 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 (NASH 1998). Para entender la historia cronológica de ENSO, es muy interesante la información obtenida por medio de las investigaciones geomorfológicas sobre cordones litorales marinos y cambios de perfil de playas (CAMPBELL 1982, MARTÍN 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 vienen impuestas por otros componentes del interconectado Sistema Climático Terrestre. La comunidad científica se reafirma: el ciclo de El Niño es cada vez más variable y preferentemente caótico. Existe una gran incertidumbre acerca de las relaciones

entre El Niño, La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y La Oscilación del Atlántico Norte, y la posible interacción entre ellos. Para Nathan MANTUA (1997), investigador del Instituto Unido para el Estudio de la Atmósfera y los Océanos, de la Universidad de Washington, 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 comparten 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, 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 1997b) 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 ralentizándose? Son preguntas que difícilmente tienen una respuesta absoluta al nivel de los conocimientos actuales sobre la interacción atmósfera-océano. 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 modifica la temperatura superficial de los océanos.

### **Los cambios sinópticos en la circulación Intertropical. La corriente en chorro “El Niño”**

La existencia de un anillo de circulación intertropical dentro de las circulaciones atmosféricas globales es conocida, aunque la explicación física ha tenido que ser constantemente reactualizada. Se configura un esquema general regido por la célula de Hadley que viene representado por la yuxtaposición de las bajas presiones ecuatoriales y de las altas presiones subtropicales como fuente de masas de aire, lo que ocasiona los vientos alisios del nordeste y sureste de ambos hemisferios, que convergen en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y un esquema regional que prevalece en el flanco sur y este de Asia, el de los monzones de verano e invierno alternativos.

En el nivel de los actuales conocimientos sobre la explicación de la dinámica atmosférica del mundo intertropical se admite -aunque parcialmente- la denominada célula de Hadley, donde el aire cálido ecuatorial se eleva constantemente, lo que conllevaría su reemplazamiento por el aire que fluye desde las altas presiones subtropicales de ambos hemisferios -alisios-. En altura, la energía agregada a los niveles altos troposféricos en el ecuador, se transfiere hacia los trópicos por medio de los vientos contralisios. A su vez, la circulación de Hadley transfiere energía a las corrientes en chorro del oeste que impulsan los grandes sistemas depresionarios en las latitudes templadas. Se entendía, pues, como una circulación meridiana desviada en su desplazamiento por el efecto de rotación de la Tierra. Con todo, no se puede admitir que la célula de Hadley sea el único motor de la circulación intertropical, sino que hay que considerar que los anillos de las Altas Presiones Subtropicales no son uniformes a lo largo de la Tierra, ya que mientras en los océanos son permanentes, en cambio, apenas existen en los continentes. Al oeste de los océanos, apenas constituyen una barrera para los intercambios entre la zona templada y la zona intertropical, posibilitando la llegada de masas polares hacia los trópicos. Las bajas latitudes distribuyen su exceso de energía radiactiva en las latitudes extratropicales, bajo la forma de energía

potencial, latente o sensible. De realizar tal transferencia se encarga sobre todo la célula de Hadley; aunque también se lleva a cabo a través de los sistemas de torbellinos de ejes verticales de las latitudes medias y altas, dando lugar a trasvases meridianos de origen polar (advecciones frías) y de origen intertropical (advecciones cálidas). Los vientos alisios no son tan uniformes como generalmente se cree, ya que solamente sobre los océanos Atlántico y Pacífico y el flanco meridional del océano Índico estos vientos se comportan de un modo verdaderamente regular. El alisio que caracteriza la circulación del este es un flujo de poco espesor con una inversión térmica fuerte. La altura donde se identifica esta inversión varía desde los 500 m en el borde oriental de los anticiclones subtropicales marítimos, hasta los 3000 m en las proximidades de la ZCIT, y el espesor de la inversión oscila desde unos pocos metros hasta más de 1 km, con un promedio de 400 m. Según se va aproximando al Ecuador, el alisio se espesa, y la inversión térmica desaparece totalmente, sobre todo en la región de calmas ecuatoriales. Es un área con presiones relativamente bajas y estables, una atmósfera saturada de humedad, donde se produce el ascenso masivo del aire sobre la vertical y una convección térmica casi generalizada. La ZCIT está sometida a un balanceo estacional norte-sur, siguiendo el desplazamiento del ecuador térmico.

Según diferentes países y autores es conocido con diferentes expresiones: “Convergencia Intertropical”, “Frente Intertropical” (FIT) o “Confluencia Intertropical” (CIT). Se trata de una amplia región de bajas presiones permanentes de una amplitud media en torno a 500 km donde confluyen los vientos alisios boreales (NE) y australes (SE). A través de ella se produce un intercambio de masa entre ambos hemisferios y también un contacto de estas masas de aire con el aire ecuatorial interpuesto, ascendencias que provocan nubosidad cumuliforme de gran desarrollo vertical, siendo el área donde más llueve de la Tierra. La nubosidad vinculada a la ZCIT es de tipo convectivo; sin embargo, las nubes cumuliformes de gran desarrollo vertical no se presentan en modo continuo a lo largo de todo el anillo, sino que suelen agruparse generalmente formando *células convectivas mesoscálicas o individuales, en disposición estirada o a lo largo de los paralelos sobre los océanos, o formando sistemas*

*más dispersos y dilatados sobre los continentes* (CUADRAT y PITA 1997), que se identifican nítidamente a través de las imágenes que muestran los satélites meteorológicos. También suele producirse la bifurcación de la ZCIT, con segmentos paralelos. En nuestros días no se puede admitir la tesis de un Frente Intertropical semejante al frente Polar, aunque la penetración de frentes fríos hasta las cercanías del ecuador se haya observado a través de satélites (Costa Rica, Nicaragua y Caribe en invierno, Amazonia peruana en pleno invierno austral). Hoy en día, se utiliza Frente Intertropical para designar las estructuras atmosféricas que se configuran sobre los espacios continentales en los que el aire cálido y seco continental converge con el aire propiamente ecuatorial cálido y muy húmedo. La Convergencia Intertropical se entiende por el contacto de los alisios –con movimiento (velocidad) y direcciones diversas, de tipo dinámico– y que se ven favorecidos por la inestabilidad termodinámica de las cálidas y muy húmedas masas de aire que están ubicadas en el dominio Ecuatorial. No aparece propiamente un sistema frontal, sino una discontinuidad cinemática. Siguiendo a Duran-Dastés, diremos que sobre los océanos, en la zona de bajas presiones ecuatoriales, se presentan dos tipos de circulación:

1) Cuando confluyen bruscamente los alisios de ambos hemisferios en una franja estrecha. Cuando esto sucede, se originan unas corrientes aéreas con unos rasgos higrométricos y térmicos muy parecidos; pero de dirección contraria. En las bajas latitudes *suelen originarse convergencias por cambio de velocidad y por rotación. Mejor sería definir este tipo de circulación como la zona de convergencia-confluencia intertropical* (DURAN-DASTÉS 1982).

2) Cuando los alisios se debilitan tanto, que llegan en la práctica a colapsarse y posibilitan un área de vientos débiles y variables, a estas áreas se les conoce genéricamente con el nombre de “doldrums”; ello ocurre preferentemente en el sector oriental de los océanos, registrándose *un encalmamiento del viento y un ascenso más suave y sostenido del aire, el cual también da lugar a la formación de nubes y lluvias* (CUADRAT y PITA 1997). Los doldrums muestran –a través de la información de los satélites– que pueden ser asiento de circulaciones débiles, pero totalmente organizadas, como la presencia de pequeños torbellinos en los que se disipan los alisios de ambos hemisferios.

En cualquiera de sus configuraciones más frecuentes, la ZCIT sigue el movimiento aparente del Sol de trópico a trópico, pasando dos veces al año por la línea principal equinoccial de la Tierra. Dicho desplazamiento muestra un desfase aproximado de un mes (ROVALINO 1984), tiempo que tarda la atmósfera terrestre en reaccionar a las variaciones térmicas originadas por este aparente movimiento del Sol entre las zonas de Cáncer y Capricornio, respectivamente. Observándose junto al ecuador el ritmo pluviométrico característico, con un doble máximo equinoccial. En su balanceo estacional norte-sur, en promedio, la ZICT muestra una posición preferentemente sobre el hemisferio Boreal, mucho más cálido; durante el monzón de verano, la ZICT se interrumpe en Asia, mientras que durante el invierno del hemisferio norte se desplaza muy hacia el sur, sobre el océano Índico y el Pacífico Occidental (PETTERSEN 1976).

No obstante en las bajas latitudes intertropicales, la circulación típica del este es a veces reemplazada en el suelo (en ciertos casos longitudinales) por un flujo débil del oeste. Para algunos autores como Flonhn, se trata de una circulación fundamental (westerlies ecuatoriales, frecuente sobre los océanos), sobre todo en el océano Indico (DURAN-DASTÉS 1982). Se trata de un flujo de débil espesor, vinculado a las bajas capas de la atmósfera, gobernada por la clásica circulación del este. En América Central y a orillas del Pacífico (sur de México, Guatemala, El Salvador, Costa Rica) se instala una circulación estacional del oeste, solapada a veces con régimen de brisas: son los “Ponientes Intertropicales” (CAPEL MOLINA y CASTILLO 1983).

Junto a las condiciones generales de la dinámica atmosférica del dominio intertropical, en el océano Pacífico hay que yuxtaponer las condiciones atmosféricas de la presión atmosférica entre las fachadas W-E del Pacífico Sur. La disimetría longitudinal de las aguas superficiales del dominio Intertropical del Pacífico –entre el sector sudamericano y el sector indonesio-australiano– provoca la aparición de una célula de circulación conocida como célula de Walker que sería quizás *el mecanismo de transferencia energético zonal más importante dentro de la circulación atmosférica planetaria* (GIL OLCINA y OLCINA CANTOS 1997). Dicha célula afecta no solo al océano Pacífico, sino que interesa a toda la franja ecuatorial de

la Tierra. Un esquema básico de la célula de Walker implica circulación ascendente sobre la cuenca del Amazonas, África Ecuatorial y oeste del Pacífico (Indonesia) y una circulación subsidente en el Pacífico suroriental, Atlántico suroriental y sector central del Índico ecuatorial. En el océano Pacífico, cuando el esquema de la circulación de Walker se solapa con el esquema de Hadley, se produce la aparición de un área de gran convectividad y baja presión en Indonesia y nordeste australiano –baja de Indonesia– situándose la ZCIT en torno a 10° S; dicha área es conocida como la Convergencia Sur Pacífica (SPCZ), y en ella afluyen los alisios cuando convergen con los vientos superficiales del oeste (RAMAGE 1986). En esa región, el aire caliente asciende, condensándose su alto contenido de humedad, con copiosas precipitaciones. Una vez que el aire desprovisto de humedad alcanza los niveles altos, avanza en la alta troposfera hacia el este, a altitudes entre 300 y 200 hPa (entre 9000 y 12000 m), donde se enfría descendiendo con posterioridad al sector central y oriental del Pacífico ecuatorial. En esta zona el tiempo es estable y seco, con una acentuada subsidencia dinámica en la franja costera de Perú y norte de Chile. Frente a las lluvias intensas que el verano austral propicia en Indonesia y norte de Australia, en la región peruano-chilena se produce una severa sequía que constituye el ritmo del tiempo atmosférico en el dominio intertropical del océano Pacífico.

Sin embargo cuando se conjuga el episodio intenso de “El Niño y la Oscilación del Sur” (ENSO), las condiciones de la dirección del flujo en el modelo de circulación de Walker se invierten por una interacción de realimentación positiva entre la atmósfera y la superficie del mar. Los vientos del oeste que se configuran al este de Indonesia provocan ondas Kelvin, que irán ampliando la zona de aguas cálidas del Pacífico occidental, lo que engendraría una migración de la baja de Indonesia. Los vientos del oeste que vienen detrás desencadenan nuevas ondas Kelvin que fomentarían la migración de los sistemas de convergencia, hasta finalizar trasladando la rama ascendente de la circulación de la célula de Walker hacia el Pacífico suroriental, provocando cuantiosas precipitaciones en el sector sudamericano, casi siempre extremadamente seco, y extremas sequías en el Pacífico occidental, espacio geográfico proverbialmente lluvioso. En definitiva, se invierte la circulación de conjunto,

y se configuran una circulación ascendente en el Pacífico oriental y central, el Atlántico suroriental y el sector central del océano Índico Ecuatorial y circulación subsidente sobre la cuenca del Amazonas, el África ecuatorial y el Pacífico occidental (Indonesia).

### **La corriente en chorro “ El Niño ”**

Durante los años de ENSO el debilitamiento del anticiclón subtropical marítimo del Pacífico Sur y su desplazamiento hacia el oeste respecto de su posición habitual, modifican la circulación general de la atmósfera; igualmente, la alteración manifiesta de la circulación de Walker, como ha ocurrido en 1972-1973, 1982-1983 (QUIROZ 1985), 1986-1987 y 1997-1998. Esta modificación de la circulación general atmosférica en la Zona Intertropical, trae consigo unas alteraciones en el comportamiento y distribución de los diferentes parámetros meteorológicos, sobre todo en la precipitación, temperatura y presión atmosférica. Dichas alteraciones climáticas inciden, a su vez, en la posición e intensidad de la corriente en chorro de niveles altos troposféricos y del comportamiento de las tormentas fuera de la Zona Intertropical, en la Zona Templada de ambos hemisferios. El área de elevada precipitación denominado “cinturón lluvioso”, que afecta la hoya amazónica y la costa noroeste de Colombia, suele desplazarse hacia el Sur, hasta 10° de latitud de su posición habitual.

El comportamiento de la atmósfera a miles de kilómetros del Pacífico Ecuatorial se ve alterado por las anomalías positivas de la TSM durante los eventos de El Niño. Sin embargo, no todos los espacios –es decir, tanto los marítimos como los continentales– del Planeta se ven igualmente afectados, ni tampoco los impactos de ENSO son regulares mientras dura el episodio. Cabría preguntarse ¿qué tipo de alteraciones climáticas observadas durante un episodio de ENSO se han originado realmente a consecuencia del calentamiento anómalo del Pacífico Ecuatorial? ¿Cómo se podría cuantificar y reconocer tales anomalías del clima? Difícilmente se puede responder satisfactoriamente a tales cuestiones, ya que las investigaciones en curso aún muestran un alto grado de incertidumbre; en cualquier caso, la interacción atmósfera-océano constituye la premisa fundamental de dicha problemática.

P. Hoerling, investigador del Climate Diagnostic Center (Universidad de Colorado)

da una interpretación muy atractiva de la susceptibilidad del Sistema Climático Terrestre ante el fenómeno ENSO. A través de la simulación de modelos numéricos del comportamiento de la atmósfera durante los episodios cálidos y fríos de ENSO, se evidencia que algo de lo que está ocurriendo en la atmósfera durante ENSO podría considerarse como la respuesta atmosférica a escala global de El Niño. Dicho autor imagina una cadena de procesos atmosféricos en la que cada eslabón aporta una información de las anomalías de la TSM del Pacífico Ecuatorial donde se desarrolla localmente El Niño a través del sistema climático terrestre. El primer eslabón sería la reacción tropical a las lluvias productoras de cumulonimbos *ya que la convección profunda es el principal agente para el intercambio de calor en la superficie de la tierra y de esa forma comunicando la presencia de El Niño a la atmósfera libre* (HOERLING 1997). Los climas tropicales húmedos tienden a corresponderse con el área cálida de la TSM en el Pacífico occidental y el monzón continental. Durante el fenómeno El Niño, las precipitaciones se incrementan en una distancia de varios miles de kilómetros a lo largo del Ecuador, desde el Pacífico central hacia el Pacífico oriental, en respuesta a las anomalías positivas de la TSM. Simultáneamente, las precipitaciones decrecen en la periferia de esta zona lluviosa, e incluso en el monzón del Sureste asiático y en la India llega la señal de ENSO. El segundo eslabón introduce la comunicación horizontal de la presencia de El Niño, y ello da cuenta de la susceptibilidad de la circulación atmosférica para transformarse en convecciones (cumulonimbos). Durante El Niño, la atmósfera está constantemente forzada, originándose movimientos atmosféricos ondulatorios, los cuales son necesarios para ajustar el flujo climatológico a las nuevas fuentes de energía tropical. Las anomalías de convección más fuertes se ubican a varios grados de latitud de la línea equinoccial principal durante el invierno, sin embargo asociado a ello existe *una circulación de masas y energía en la atmósfera que se extiende varios miles de kilómetros en el camino hacia los polos, en los subtrópicos. Debido a la rotación de la tierra, la fuerza desviadora (efecto Coriolis), actúa sobre esta corriente externa a lo largo del trayecto hacia los polos, iniciando de esta manera un patrón como ondas dentro de la corriente alterada* (HOERLING 1997).

La interacción entre la corriente de los vientos del oeste (Corriente en Chorro Polar) y la corriente externa de origen pacífica, da como

respuesta atmosférica un patrón de ondas sucesivas donde las bajas y altas presiones se alternan. Su recorrido sigue un gran círculo que se extiende hacia las altas latitudes de la región americana del Pacífico norte y posteriormente a lo largo del Ecuador hacia el Atlántico occidental. En el hemisferio Austral se identifica un patrón similar de onda en la atmósfera, influyendo en el clima del Cono Sur Americano (Chile, Argentina, Uruguay y sureste de Brasil), provocando los chorros más intensos del Pacífico durante El Niño y un cambio hacia el este del patrón de las ondas estacionarias sobre la región norte del Pacífico americano. Las alteraciones que se producen en niveles altos de la troposfera modifican el curso de los ciclones y anticiclones migratorios, que son los que controlan los cambios diarios del tiempo atmosférico en las altas latitudes. Y los cambios que se producen en las propiedades estáticas de las tormentas (por ejemplo, su intensidad, origen, trayectorias, frecuencia) constituyen una parte principal de la señal de ENSO tanto en temperaturas como en las precipitaciones en las regiones templadas y frías. Dicha ruta de tormenta retroalimentadora constituiría el tercer eslabón fundamental de la cadena iniciada por las anomalías positivas de la TSM en el océano Pacífico ecuatorial.

#### **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 periodo 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 varía según los autores, con intervalos entre 3 y 8 años (CHÁVEZ 1987); 3 y 16 años (LAGOS 1997); 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 1997a); 3 y 7 años (TRENBERTH 1997b). 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 (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 procedentes 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 éste transporte desde el flanco occidental del Pacífico hacia el oriental, atribuyéndose a éste 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).

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 de forma ininterrumpida 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 esperaba 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 sobresalientes 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 o 12 meses.

### **El Niño y el calentamiento térmico global**

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 1997b). 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 1997a), su impacto es más fuerte en América Latina, Océanos Pacífico e Índico y África.

Las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Central son indicadores de la existencia de conexiones entre la lluvia monzónica por un lado y acontecimientos en el Pacífico por otro, más existe incertidumbre sobre las pruebas estadísticas adecuadas para establecer el significado de un cambio provocado por las fluctuaciones en las condiciones de contorno. Ya en los años veinte Sir Gilbert Walker postuló la existencia en el Pacífico de una oscilación masiva de la presión atmosférica entre ambas orillas oceánicas. Y que tendía a enlazar acontecimientos en el Pacífico con la lluvia del monzón de verano, a través de un cambio zonal a gran escala. Sería, pues el primer investigador que relacionó la escasez de lluvias monzónicas de verano en el subcontinente indio con un bajo índice de la Oscilación del Sur; por el contrario, cuando dicho índice era elevado el monzón era lluvioso. O sea que durante los episodios de El Niño (cuando el IOS alcanza su mínimo) tiende a disminuir drásticamente el monzón lluvioso en el Sur de Asia. A partir de 1980 diversos investigadores como Sikka, Ramage, Pant, Parthasarathy, Mooley, Rasmusson y Carpenter volverían de nuevo a esgrimir la conexión entre el fenómeno de El Niño y el Monzón de la India. La comparación entre las integraciones a largo plazo, incluyendo las anomalías de la TSM y de la presión atmosférica con las que sirven de referencia, no ha aclarado demasiado el tema de cómo se efectúan los cambios generados en los modelos (DAS 1984). Sin embargo las conexiones son cada vez más evidentes. Uno de los eventos más representativo de El Niño 1972/1973, el cual se vio asociado a una pertinaz sequía en la India. Cinco años después (1979), la India padeció una grave sequía, resultando ser el año más seco "meteorológicamente" del siglo XX, con un monzón débil: en dicho año no se produjo ningún episodio de El Niño.

Muy recientemente en 1996 en que predominó un episodio frío del fenómeno ENSO -"Antiniño", conocido también por La Niña e incluso como "El Viejo" (Perú)- ha habido unas precipitaciones del monzón superiores a la normal en la India y en Australia (OMM, 1997); y en 1997 con un episodio cálido de ENSO las precipitaciones del monzón fueron inferiores a la normal en la India, Australia e Indonesia.

Entre mayo y octubre una gran parte de Indonesia padeció una acusada reducción de la precipitación, hasta un 40%-50% del promedio, viéndose afectados los cultivos tropicales, especialmente el caucho. El intenso calor y la sequía estimularon los incendios forestales y altas concentraciones de la contaminación atmosférica. En Australia el tiempo cálido, seco y ventoso asociado a la sequía favoreció la rápida expansión de los incendios forestales, aunque muchos de ellos pudieron ser provocados.

No obstante hay que señalar que no existe total correlación entre episodios cálidos de ENSO y debilidad pluviométrica del monzón Indio. Existen episodios El Niño con monzones húmedos, como en 1994, cuando reaparece nuevamente el episodio cálido de ENSO durante la segunda mitad del año. Desde principios de junio hasta finales de agosto se producen lluvias intensas ligadas al monzón en la India y el sur de Pakistán. Precipitaciones más del doble de lo normal cayeron entre junio y julio y en el mes de agosto hubo grandes lluvias e inundaciones por todo el subcontinente indio (OMM, 1995). Así pues, los estudios desde WALKER (1923) hasta NIGAN (1994) apuntan a que existe una relación entre los episodios (frecuentes-moderados) de El Niño y las lluvias monzónicas, relación que se da con una frecuencia de entre un 60% y un 70% de frecuencia (SASEEDRAN et al. 1997). Tal conexión va tomando cuerpo entre las investigaciones de climatólogos y los expertos sobre el clima.

### **Las secuelas del Niño sobre el Planeta**

En el contexto del calentamiento térmico global de la atmósfera, admitido por la comunidad científica, ¿qué papel representa El Niño? Su ciclo está cambiando respecto a su periodicidad que nunca fue rigurosa sino caótica, y se presenta cada vez con mayor asiduidad, sobre todo, en lo referente a los episodios extraordinarios. Desde los años setenta se han dado tres de los eventos muy fuertes en tan sólo 25 años: 1972-1973; 1982-1983 y 1997-1998.

El índice multivariado de ENSO que representa (según el Centro de Pronóstico Climático de USA, NOAA/CIRES) un promedio para todo el océano Pacífico tropical de la TSM, temperatura del aire, viento, nubosidad y presión al nivel del mar, revela que a partir de 1975 se han producido más episodios cálidos de

El Niño y menos episodios fríos de la Niña. Esta tendencia de calentamiento manifiesto, podría estar enmarcada dentro de la variabilidad natural del clima. 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 a evolucionar El Niño, acelerándose o ralentizándose? Son preguntas que difícilmente tienen una respuesta convincente y absoluta debido a los conocimientos actuales sobre la interacción atmósfera-océano. Para algunos expertos de la Organización Meteorológica Mundial, El Niño tiende a acelerarse con la influencia de las actividades humanas, pues la emisión de gases con efecto invernadero modifica la temperatura superficial de los océanos.

No cabe duda que El Niño constituye un foco de atención permanente por parte no solo de la comunidad científica sino de toda la sociedad, donde los medios de comunicación social, especialmente prensa y televisión lo han divulgado hasta la saciedad. Los artículos sobre El Niño y sus impactos medioambientales y económicos han aparecido en publicaciones de muy amplia difusión, como *Le Nouvel Observateur*, *The New York Times*, *Los Angeles Times*, *ABC*, *Reader's Digest*, *National Geographic*, *Newsweek*, *Time* y *Business Week*, hasta el punto de que cualquier fenómeno meteorológico cotidiano suele atribuir, sin pudor alguno, por efecto inductor de El Niño. Y por extraño que parezca, también constituyó un tema de conversación para el gran público español, especulándose acerca de la influencia directa de El Niño en el verano tan húmedo que padeció España en 1997 y en la fría primavera de 1998, con intensas nevadas en el mes de abril. En cualquier caso no hay una correspondencia directa entre dicho fenómeno y el clima de la P. Ibérica, como hemos podido comprobar para algunos observatorios de largos registros estadísticos, como han sido los casos de Santiago de Compostela, Madrid o Murcia, para parámetros meteorológicos como temperaturas y precipitaciones, cuando se utilizan las diversas cronologías más divulgadas (QUINN 1987, MABRES 1993, WOODMAN 1985).

### **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 han producido alteraciones climáticas en la costa occidental de Sudamérica, anotándose anomalías térmicas de hasta 7°C en Lima para el mes de diciembre de 1997 y de 8°C 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 pueden cruzar el canal (febrero 1998). Honduras soportó altas temperaturas y una fuerte sequía, lo que propició cuantiosos incendios forestales (1.127 incendios durante los meses de enero y febrero 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 gigantescos incendios de Indonesia durante agosto y septiembre de 1997 y una elevada contaminación atmosférica a consecuencia del humo al quemarse la densa cobertura vegetal (perdiéndose casi un millón de ha de pluvisilva ecuatorial); incendios también tuvieron lugar en la Amazonía, 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 Hawai. 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 (solo 7), tres de las 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° W y 170° E), África Oriental (Kenia, norte de Tanzania, 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).
- Sureste 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 tornados, 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, 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 vieron afectadas por graves inundaciones y dependieron 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 provocaron 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 ha 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 m de ancho, pendiente de 2/1000 y 2,5 m 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 (PAVEZ 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 número 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 número de muertos ascendía a 203, destruidas 19.000 viviendas y afectadas 106.900. Se destruyeron 43.440 ha 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.

#### **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, Lambayeque, Pariñas), 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 4424 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 3100 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 puede 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 1997a), 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 es 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.

### Bibliografía

- ARNITZ, W. y FAHRBACH, E. (1996): *El Niño experimento climático de la Naturaleza*. Fondo de Cultura Económica, México.
- BJERKNES, J. (1966): A posible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean Temperature. *Tellus* 18: 820-829.
- CAMPBELL, K.E. (1982): Late Pleistocene events along the coastal plain of northwestern South America. In GT.Prance (ed.). *Biological Diversification in the tropics*: 423-440. Columbia University Press, New York.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1999): *El Niño y el Sistema Climático terrestre*. Ariel, Barcelona.
- CAPEL MOLINA, J.J y CASTILLO, J.M. (1983): *El clima de los Estados Unidos Mexicanos*. CSIC, Madrid.
- CAVESTANY, J. (1997): El Niño más terrible. *Pais Semanal* 1: 108, 21 diciembre.
- 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/Oscilacion Sur (ENOS) 1997*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, Ecuador.

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*: 183-232. Elsevier, Amsterdam.

CUADRAT, J. M. y PITA, M. F. (1997): *Climatología*. Cátedra, Madrid.

DAS, P. K. (1984): Los monzones. *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*: 33 (1): 37-43.

DURAN-DASTÉS, F. (1982): *Geografía de los Aires*. Ariel, Barcelona.

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. *Bull. Inst. Français d'Etudes Andines* 24 (3): 697-706.

GIL OLCINA, A y OLCINA CANTOS, J. (1997): *Climatología general*. Ariel, Barcelona.

GLANTZ, M. (1997a): *El Niño viene o parece?* Environmental and Societal Impacts Group. National Center for Atmospheric Research, USA.

GLANTZ, M. (1997b): *¿Por qué preocuparse sobre El Niño?* A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy perspectives, 20 julio-1 agosto, Boulder, Colorado, USA.

HOERLING, M. P. (1997): *¿Qué está ocurriendo en la atmósfera durante ENSO?* A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy perspectives, 20 julio-1 agosto, Boulder, Colorado, USA.

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 julio-1 agosto, Boulder, Colorado, USA.

MABRES, A. et. al. (1993): Algunos apuntes históricos adicionales sobre la cronología de El Niño. *Bull. Inst. Français d'Etudes Andines* 22 (1): 395-406.

MANTUA, N. (1997): *Enos y los impactos de ODP sobre la ecología marina del NE del Pacífico*.

A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy perspectives, 20 julio-1 agosto, Boulder, Colorado, USA.

MARTIN, L. et al. (1993): Southern Oscillation signal in South American paleoclimatic data of the last 7000 years. *Quaternary Research* 39: 338-346.

MIRANDA, G. (1997): Influencia de el fenómeno El Niño y del índice de Oscilación del Sur, en el régimen de precipitaciones de Cochabamba. *Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local*, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: 153-167, Quito.

MOREANO, H.R. (1984): Manifestaciones de El Niño 1982/1983 en aguas ecuatorianas. *Rev. Comisión Permanente del Pacífico Sur* 15: 85-94.

NASH, M. J. (1998): La cólera de El Niño. El sistema atmosférico del siglo desata estragos en todo el mundo. *Time* (para Latinoamérica): febrero, 16.

NIGAN, S. (1994): On the dynamical basis for the Asian summer monsoon rainfall-El Niño relationship. *Journal of Climate* 7 (11): 1750-1771.

PAVEZ WELLMANN, A. (1998): *La inundación de Ica, del desastre al desarrollo*. Centro Peruano de Estudios Sociales- CEPES, Lima. Fenómeno El Niño, Ica.

PETTERSEN, Ph. D. (1976): *Introducción a la meteorología*. Espasa Calpe, Madrid.

PINTO, M. (1985): Efectos biológicos de El Niño. *Boletín del Grupo de Estudio del Medio Ambiente* II (3): 13. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

POUYAUD, B. et al. (1997): Contribución del Programa "Nieves y Glaciares Tropicales" (NGT) al conocimiento de la variabilidad climática en los Andes. *Seminario Internacional sobre las Consecuencias climáticas e Hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local*: 311-319. Quito.

QUINN, W.H. et al (1987): El Niño, occurrences over the past four and half centuries. *Journal of Geophysical Research* 92 (C13): 14.449-14.461.

QUIROZ, R. (1985): *Circulations patterns relevant to the anomalous rainfall in Ecuador and Perú during the 1982-1983 El Niño*. Ciencia,

Tecnología y Agresión Ambiental, El Fenómeno El Niño, Lima.

RAMAGE, Colin, S. (1986): El Niño. *Investigación y Ciencia* 119: 40-48.

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. *Seminario Internacional sobre las Consecuencias Climáticas e Hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local*: 321-326. Quito.

RIBSTEIN, P. Et Al. (1997): Evenements ENSO et Hydrologie de Glaciers en Bolivie. *Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local*: 327-328. Quito.

ROSSEL, F. et al. (1997): Caracterización, tipología y zonificación de las consecuencias pluviométricas de los ENSO en la costa ecuatoriana.

ROVALINO, A. (1984): Aspectos climatológicos de El Niño 1982-1983 en El Ecuador. *Rev. Comisión Permanente del Pacífico Sur* 15: 7-15.

SASEEDRAN, S.A. et al. (1997): Rainfall distribution in India during El Niño years. *Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local*: 303-305. Quito.

SHEN, G. T. (1994): Reconstruction of El Niño history from reef corals. *Bull. Inst. Français d'Etudes Andines* 1: 125-158.

STEINITZ-KANNAN, M. et al. (1994): The fossil diatoms of lake Yambo, Ecuador a possible record of El Niño events. *Bull. Inst. Français d'Etudes Andines*: 227-241.

THOMPSON, L.G. (1995): Late Holocene ice core records of climate and environment from

the tropical Andes, Perú. *Bull. Inst. Français d'Etudes Andines* 24 (3): 619-629.

TRENBERTH, K. (1997a): *El sistema de EL NIÑO-Oscilación del Sur*. A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives, 20 July-1 August. Boulder, Colorado, USA.

TRENBERTH, K. (1997b): *Enos y las variaciones antropogénicas del clima*. A Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives, 20 July- 1 August. 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. *Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del fenómeno ENSO a escala regional y local*: 67-35. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito.

WALKER, G.T. (1923): World Weather I. *Mem. Indian Meteorol. Dep.* 24: 75-131.

WOODMAN, R. (1985): *Recurrencia del fenómeno El Niño con intensidad comparable a la de El Niño 1982/1983*. Ciencia, Tecnología y Agresión Ambiental. El Fenómeno EL Niño, pp. 301-332. Lima.

WYRTKI, K. (1975): El Niño: The dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.* 5: 572-584.

YESID CARVAJAL, E. et al. (1997): Incidencia del fenómeno Niño en la hidroclimatología del valle del río Cauca. *Seminario Internacional sobre las consecuencias climáticas e hidrológicas del ENSO a escala regional y local*: 201-215. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito.