

# Los fenómenos de El Niño y de La Niña

su efecto climático e  
impactos socioeconómicos

José Daniel Pabón Caicedo  
José Edgar Montealegre Bocanegra



ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
COLECCIÓN JORGE ÁLVAREZ LLERAS No. 34



**Los fenómenos de El Niño y de La Niña,  
su efecto climático e impactos socioeconómicos**

**José Daniel Pabón Caicedo  
José Edgar Montealegre Bocanegra**

Bogotá D.C., 2017

**Catalogación en la publicación Academia  
Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

Pabón Caicedo, José Daniel; Montealegre Bocanegra, José Edgar. Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2017.

168 p. il. (Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 34)

ISBN Obra completa: 978-958-9205-19-8

ISBN Volumen: 978-958-9205-93-8

1. Fenómeno de El Niño 2. Fenómeno de La Niña 3. Oscilación del Sur 4. Fases extremas de variabilidad climática 5. Impacto de los fenómenos de El Niño y de La Niña

**Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos**

© Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Carrera 28A No. 39A-63, Apartado 44763, Bogotá, D.C. Colombia  
2017

© José Daniel Pabón Caicedo  
José Edgar Montealegre Bocanegra  
2017

**Diagramación y diseño portada:**

Luz Mery Avendaño

**Preprensa e Impresión:**

Editorial Gente Nueva

Pbx: 320 21 88

República de Colombia  
MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL



Esta Publicación se ha financiado mediante la transferencia de recursos del Gobierno Nacional a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

El Ministerio de Educación Nacional no es responsable de las opiniones aquí expresadas

*Derechos reservados. Este libro o partes del mismo no pueden ser reproducidos sin la autorización de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y de los autores.*

*A mis adoradas hijas Laura Alejandra y Sonia Natalia,  
y a Sonia, su dedicada madre*  
**Daniel**



*A mi esposa Jael, por su permanente comprensión y estímulo y,  
a mis hijos, Mauricio, Ricardo, Angélica y Diego que han sido  
y serán el porqué de nuestra lucha y superación.*  
**Edgar**

**JOSÉ DANIEL PABÓN CAICEDO**, estudió meteorología en el Instituto Hidrometeorológico de Odessa, (Ucrania, antigua Unión Soviética), donde obtuvo su doctorado en Meteorología en la misma institución en el año 1987. Se ha desempeñado en el del Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) y en del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Desde 1994 ha estado vinculado a la Universidad Nacional de Colombia; actualmente es Profesor Asociado en el Departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias Humanas, en donde desarrolla la actividad de docencia, investigación y extensión, participa en los Programa de Pregrado (Carrera de Geografía) y Postgrado (Maestría y Doctorado en Geografía); también participa en el Programa de Postgrado del Meteorología del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias de la misma Universidad.

En el Departamento de Geografía lidera el grupo de investigación “Tiempo, Clima y Sociedad”, con líneas de investigación dirigidas al estudio de la variabilidad climática y del cambio climático, al modelamiento de la atmósfera y del clima en diversas escalas espacio-temporales para la América tropical, particularmente para el territorio colombiano, así como a analizar las relaciones clima-sociedad.

Es miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha dirigido el Centro Internacional para la Investigación del fenómeno de El Niño (CIIFEN).



**JOSÉ EDGAR MONTEALEGRE BOCANEGRA**, es Licenciado en Física y Matemática de la Universidad Libre de Colombia. En 1978 obtuvo su título de Meteorólogo (clase II - OMM) en la Escuela de Enseñanza del Instituto Meteorológico de España. En 1999, el programa de Postgrado en Meteorología del Departamento de Geociencias - Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, le otorgó su título de Magister en Meteorología. Se ha desempeñado como Profesor Adscrito del Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia y ha impartido cátedra en otras universidades de la capital colombiana.

Ha sido investigador científico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Su campo de acción se ha orientado principalmente al estudio de los procesos de variabilidad climática, particularmente los inherentes a la relacionada con el ciclo El Niño – La Niña – Oscilación del Sur.

## CONTENIDO

Prefacio.....	11
Introducción.....	13

### **Capítulo 1**

#### La atmósfera, la circulación general de la atmósfera, el clima y la variabilidad climática

1.1. La Atmósfera .....	15
1.2. La dinámica atmosférica .....	16
1.3. El clima.....	20
1.4. La variabilidad climática.....	21
1.4.1. Variabilidad Climática Intraestacional .....	21
1.4.2. Variabilidad Climática Interanual .....	22
1.4.3 Variabilidad Climática Interdecadal .....	24
Referencias Bibliográficas .....	24

### **Capítulo 2**

#### Características del fenómeno de El Niño

2.1. Generalidades sobre el fenómeno de El Niño .....	26
2.2. Aspectos históricos.....	27
2.3. Causas del fenómeno de El Niño .....	31
2.4. Etapas de desarrollo .....	32
2.5. Intensidad de los fenómenos El Niño.....	35
2.6. Duración de los fenómenos El Niño .....	37
2.7. Frecuencia de los fenómenos El Niño.....	38
2.8. El cambio climático y las propiedades (intensidad, duración y frecuencia) del fenómeno El Niño .....	38
Referencias Bibliográficas .....	41

### **Capítulo 3**

#### Características del fenómeno de La Niña

3.1. Generalidades sobre el fenómeno La Niña.....	46
3.2. Aspectos Históricos.....	47

3.3. Causas que lo generan .....	48
3.4. Etapas de desarrollo .....	49
3.5. Intensidad de los fenómenos La Niña .....	51
3.6. Duración de los fenómenos La Niña .....	52
3.7. Frecuencia de los fenómenos La Niña .....	53
Referencias Bibliográficas .....	54

#### **Capítulo 4**

##### La Oscilación del Sur

4.1. Generalidades .....	55
4.1.1. El campo medio de la presión atmosférica en las capas bajas sobre el Océano Pacífico .....	56
4.1.2. La circulación de Walker .....	57
4.2. El campo bórico y la circulación de Walker en condiciones El Niño y La Niña.....	57
4.3. La Oscilación del Sur .....	58
4.4. Aspectos históricos del estudio de la Oscilación del Sur .....	60
Referencias Bibliográficas .....	62

#### **Capítulo 5**

##### Sobre la génesis de los fenómenos El Niño y La Niña

5.1. Las Ondas de Madden - Julián y los fenómenos El Niño y La Niña .....	66
5.2. La Oscilación Cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior (QBO), la Oscilación Cuasibienal de la troposfera (TBO) y los fenómenos El Niño y La Niña.....	71
5.3. La actividad volcánica y la sismicidad y su relación con El Niño y La Niña.....	73
Referencias Bibliográficas .....	76

#### **Capítulo 6**

##### Efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en el planeta

6.1. Las teleconexiones asociadas a los fenómenos de El Niño y de La Niña .....	81
6.2. Efectos en el ambiente marino y costero del Océano Pacífico .....	84
6.3. El efecto climático del fenómeno El Niño en diferentes regiones del planeta.....	88
6.4. El efecto climático del fenómeno de La Niña en diferentes regiones del planeta.....	91

6.5. El efecto del fenómeno de El Niño sobre el territorio de la Comunidad Andina de Naciones .....	92
6.5.1. Efecto directo en el ambiente marino y costero de Colombia, Ecuador y Perú .....	92
6.5.2. Efecto climático de los fenómenos de El Niño y de La Niña en los países de la Comunidad Andina de Naciones .....	93
Referencias Bibliográficas .....	97

### **Capítulo 7**

#### Impacto socioeconómico y ambiental de las fases extremas de El Niño - La Niña en diferentes regiones del mundo

7.1. Sobre el impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en las sociedades a través de la historia .....	103
7.2. Los impactos socioeconómicos de los eventos El Niño y La Niña más fuertes ocurridos en la segunda mitad del siglo XX. ....	107
Referencias Bibliográficas .....	114

### **Capítulo 8**

#### Efecto de los fenómenos El Niño - La Niña - Oscilación del Sur en Colombia

8.1. Los efectos en el ambiente marino y costero colombianos .....	120
8.1.1. Efectos en la temperatura del mar .....	120
8.1.2. Efectos en el nivel medio del mar .....	121
8.1.3. Efectos en la circulación oceánica del Pacífico colombiano .....	122
8.1.4. Efectos en la salinidad y los nutrientes .....	122
8.1.5. Efectos sobre el medio biótico y los ecosistemas marinos .....	123
8.2. Los efectos en el clima del área continental.....	123
8.2.1. Efectos sobre la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. ....	124
8.2.2. Efectos en la temperatura del aire .....	124
8.2.3. Efectos en la precipitación .....	125
8.3. Efectos sobre los niveles y caudales de los ríos y sobre la oferta hídrica natural.....	127
8.4. Efectos sobre los suelos y la cobertura vegetal.....	130
8.5. Efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en la frecuencia de eventos extremos .....	132
Referencias Bibliográficas .....	135

## Capítulo 9

### Los impactos de los fenómenos El Niño y La Niña sobre el territorio colombiano

9.1. Los impactos en el sector agropecuario .....	143
9.2. Los impactos sobre el abastecimiento de agua y el saneamiento básico.....	149
9.3. Impactos en el sector generador de energía.....	150
9.4. Impactos en el sector de la salud.....	152
9.5. Impactos en el transporte por carreteras, férreo y fluvial .....	154
9.6. El Niño y La Niña y los desastres en Colombia.....	155
9.7. El impacto en los indicadores económicos nacionales.....	158
Referencias Bibliográficas .....	159
Glosario.....	163

## PREFACIO

En los últimos años se han publicado libros y artículos científicos sobre el tema de los fenómenos El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur. No obstante, en medio de todas estas publicaciones, no se dispone de una que introduzca de manera sencilla al entendimiento de estos fenómenos, en la comprensión de sus diferencias y de sus fases de gestación, desarrollo y debilitamiento, en el conocimiento de la interacción océano - atmósfera que va asociada a los mismos y en el papel que éstos desempeñan en la variabilidad climática interanual.

El ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur induce una señal importante dentro de la variabilidad climática interanual. Con las alteraciones que estos fenómenos producen en los patrones de temperatura y de precipitación, así como en otras variables climatológicas de diferentes regiones del planeta, se generan grandes impactos en la sociedad. El conocimiento de estos fenómenos y de su efecto climático es esencial tanto en la tarea de vigilancia, prevención y mitigación de los impactos negativos de las fases extremas de la variabilidad climática, así como para el aprovechamiento de los aspectos positivos derivados de las mismas, en general. Por ello, es necesario que los diferentes niveles y sectores de la sociedad estén enterados acerca de estos eventos naturales y de cómo podrían verse afectados por los mismos.

El presente libro es una compilación del conocimiento sobre esta materia, intentando una presentación didáctica de los aspectos básicos del tema. Se expone de manera sencilla e ilustrativa los aspectos relacionados con el fenómeno en sí, sus efectos e impactos, su relación con las diferentes escalas de la variabilidad climática, con el cambio climático y con el cambio global; también se mencionan los medios de observación, seguimiento y predicción inherentes al tema. En esta compilación se incluyen los avances logrados en el conocimiento por el programa de investigaciones TOGA (The Tropical Ocean - Global Atmosphere), el cual fue impulsado primordialmente por el Programa Mundial del Clima de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y los resultados de otros programas internacionales desarrollados más recientemente, como también de investigadores de centros de investigación y de universidades de diferentes países; se incluye también los aportes de los autores en cuanto el tema se refiere a Colombia. Se ha acopiado el conocimiento

disponible hasta la primera década del siglo XXI, desarrollado por investigadores de diferentes partes del mundo.

Este libro está dirigido a estudiantes universitarios de pregrado y postgrado en ciencias naturales, ambientales y de La Tierra, en ingenierías o a profesionales involucrados en los niveles de toma de decisión en los que el clima y la variabilidad climática intervienen como un factor condicionante. Igualmente, es una orientación a la comunidad sobre este tema.

El reconocimiento especial al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y a la Universidad Nacional de Colombia, entidades que a través del apoyo a las actividades de investigación de los autores contribuyeron a la generación de parte del conocimiento incluido en esta compilación. Un especial agradecimiento a la señora Gloria Edith Triana, por la organización del texto.

Un agradecimiento especial a los dos revisores anónimos que con sus observaciones, comentarios y recomendaciones contribuyeron a la terminación de este libro.

## INTRODUCCIÓN

De año en año, se producen extremos climáticos (sequías – inundaciones) en diferentes partes del planeta, como resultado de la variabilidad natural del clima. El ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur es, tal vez, el componente más conocido en la variabilidad climática interanual, cuya señal se percibe en diferentes regiones del planeta. En medio de otros procesos (la Oscilación Cuasibienal, las oscilaciones intra-estacionales de 30-60 días del tipo Madden y Julián), el ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur se destaca por generar marcadas oscilaciones en las variables climatológicas (temperatura del aire y precipitación, por ejemplo) que lo hace notar más fácilmente sobre otros componentes de la variabilidad climática interanual (año tras año). Y, en efecto, las fases extremas de este ciclo, son ampliamente conocidas por el impacto social, económico y ambiental que causa. Esa es la razón principal por la cual se ha prestado mayor atención a estos fenómenos.

Aunque en el océano Pacífico tropical central y oriental las condiciones térmicas del agua progresan en ciclos continuos que llevan de una condición extrema al extremo inverso, es posible identificar, fases con características particulares (Figura 3.1), como calentamientos extremos (El Niño), condiciones “normales”, o “no extremas”, o de “transición”, o de “normalidad”, o “neutras”, y enfriamientos extremos (La Niña). Generalmente las condiciones de normalidad se caracterizan por presentar una diferencia longitudinal de la temperatura de la superficie del mar a todo lo largo del sector tropical, de tal forma que en la parte occidental las aguas son cálidas con temperaturas del orden de 29 y 30°C, en marcado contraste con el sector oriental (frente a la costa suramericana) donde se concentran aguas relativamente frías con temperaturas que oscilan, en término medio, entre 22 y 24°C; al acumularse las aguas en el sector occidental por acción del impulso de los vientos alisios, el nivel medio del mar es mayor (alrededor de 40 centímetros) en este sector, comparado con el oriental. En algunos años los vientos se debilitan (intensifican) de tal manera que las condiciones “normales” se alteran para dar paso a situaciones extremas como el fenómeno de El Niño (La Niña). La Oscilación del Sur (OS) es la respuesta de la atmósfera a estos fenómenos oceánicos y suele considerarse como la componente atmosférica del ciclo. Las fases extremas generan la alternancia de la presión atmosférica entre los sectores occidental y centro-oriental del Pacífico tropical

conocido como Oscilación del Sur (OS). La OS es en definitiva la que actúa sobre la circulación atmosférica planetaria y con ello conduce la señal de estos fenómenos a regiones y lugares distantes del Pacífico tropical, en donde su efecto se expresa en anomalías climáticas de diverso tipo.

El Ciclo El Niño, La Niña – Oscilación del Sur, es un proceso natural y recurrente, cuyos períodos de ocurrencia han fluctuado en el último medio siglo, entre 3 y 7 años. Se puede afirmar que El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur, son fenómenos que resultan de la compleja interacción entre el océano y la atmósfera, en la escala climática, principalmente. Esta conexión tan estrecha, ha llevado incluso a la confusión de muchos, quienes presentan a El Niño y La Niña como fenómenos atmosféricos; estos, aunque originados principalmente por la interacción con la atmósfera, son oceánicos. La Oscilación del Sur es la respuesta atmosférica a las condiciones térmicas del océano.

Aunque forman parte de un mismo ciclo, debido a que están estrechamente relacionados por la interacción entre océano y la atmósfera, El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur tienen características muy particulares en su génesis y desarrollo por lo cual se pueden describir independientemente. El análisis detallado de cada uno de ellos conduce a una mejor comprensión del ciclo y de su papel en la variabilidad climática. Justamente, esta aproximación es la que se utiliza en el presente libro en el análisis del citado ciclo.

Es conveniente anotar que en la literatura asociada a este tema hay diferentes interpretaciones y términos. Así por ejemplo, en muchos casos el término “El Niño - Oscilación del Sur” (ENOS, en español; ENSO en inglés) incluye la fase cálida (El Niño) y fría (La Niña) del ciclo. En otros, el término “El Niño” incluye los efectos climáticos de éste, en diferentes regiones. En este libro se reconoce el ciclo El Niño, La Niña Oscilación del Sur, pero diferencia los fenómenos oceánicos El Niño y La Niña y la respuesta atmosférica a estos, la Oscilación del Sur, del efecto climático que se expresa en las anomalías en regiones remotas y del impacto de estas anomalías en el medio físico-biótico y socioeconómico. Sin embargo, la forma como se expone todo lo relacionado con estos fenómenos en este libro, no pretende polemizar ni criticar otros enfoques. Esta propuesta, que de diferentes formas considera y resume las existentes, está motivada por un intento de hacer llegar el conocimiento sobre el tema de una manera fácil y comprensible a toda una comunidad, que lo necesita para aplicaciones prácticas.

LA ATMÓSFERA, LA CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA,  
EL CLIMA Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Antes de adentrarse en el tema de los fenómenos del Ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur, es conveniente presentar el marco conceptual dentro del cual se desarrollan los procesos físicos inherentes a este ciclo. En este primer capítulo se presentan los conceptos más relevantes sobre la atmósfera y algunas particularidades de su dinámica, las diferencias entre tiempo y clima, así como las escalas más destacadas de la variabilidad de este último.

### **1.1. La Atmósfera**

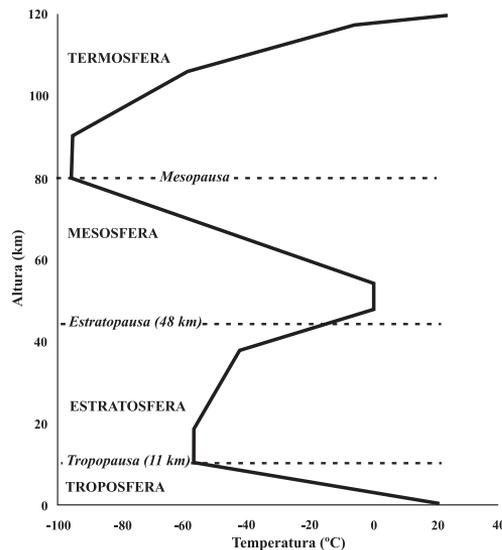
La atmósfera de La Tierra es la capa situada alrededor del planeta que la constituye una mezcla de gases, conocida como aire, aerosoles y nubes. Dicha capa se torna tenue en la medida como se avanza en altitud hasta los 750-1000 kilómetros aproximadamente, altura donde comienza el espacio cósmico. Está compuesta principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%); el 1% restante lo constituyen distintas proporciones de otros gases como hidrógeno, ozono, vapor de agua, metano, monóxido y dióxido de carbono, helio, neón, kriptón, xenón, entre otros; el vapor de agua es el constituyente más variable del aire.

Algunos de los gases variables como el vapor de agua y el CO<sub>2</sub> son relativamente transparentes a la radiación solar de onda corta incidente en el rango visible pero absorben la radiación de onda larga saliente de la superficie de La Tierra. Estos gases absorben la radiación de onda larga saliente y la irradian en diferentes direcciones, entre ellas de retorno hacia la superficie de La Tierra. Este proceso de retención de la energía entre la atmósfera y la superficie de La Tierra es conocido como efecto invernadero. En otras palabras, el efecto invernadero se puede definir como la propiedad que tiene la atmósfera de retener parte de la radiación de onda larga que la superficie de La Tierra emite hacia el espacio. Gracias a este efecto, la temperatura media global del aire cerca de la superficie terrestre es de aproximadamente 15°C; si dicho efecto no existiera, tal temperatura estaría entre -23° y -18°C.

La atmósfera no tiene un límite superior definido; a medida que la distancia desde la Tierra aumenta, ésta se atenúa, es decir, la cantidad de gases que contiene va disminuyendo, de tal forma que en los 5,5 kilómetros más cercanos a la superficie

se encuentra la mitad de la masa total y antes de los 15 kilómetros de altura se concentra cerca del 95% de toda la masa atmosférica. No obstante, se considera que la atmósfera puede llegar hasta aproximadamente los 800 kilómetros y sí se toma como criterio el comportamiento de la temperatura con la altura, se pueden definir varias capas (ver Figura 1.1), a saber: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y, algunos consideran, exosfera. La capa inferior, la troposfera, se extiende desde la superficie hasta los 12 (en latitudes medias) o los 18 (en el trópico) kilómetros; en esta capa se desarrolla la mayor parte de la actividad humana y el desarrollo de los ecosistemas por lo que los fenómenos que ocurren allí inciden directamente en los procesos ecosistémicos y socioeconómicos.

La capa inmediatamente superior a la troposfera es la estratosfera, la cual se extiende desde el límite superior de la troposfera (la tropopausa) hasta los 50 kilómetros. En esta se presentan los procesos que generan la capa de ozono, la que protege la vida de La tierra absorbiendo parte de la radiación ultravioleta que ingresa en el espectro solar.



**Figura 1.1.** Estructura vertical de la atmósfera considerando el comportamiento de la temperatura del aire con la altura.

## 1.2. La dinámica atmosférica

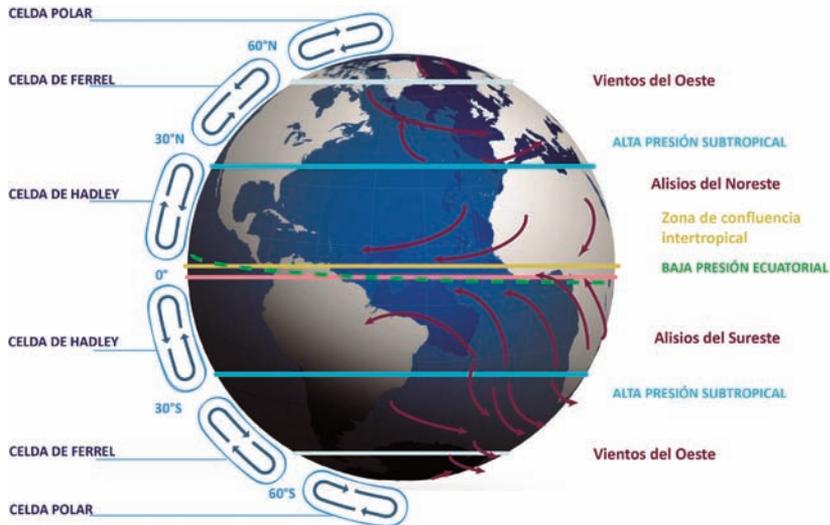
La atmósfera se puede considerar como un fluido en continuo movimiento generado por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre (cálido en el Ecuador

y frío en los polos), el cual conlleva a contrastes de presión atmosférica que, en definitiva, impulsan las masas de aire desde las altas hacia las bajas presiones; dicho movimiento, modificado por las fuerzas de Coriolis y de fricción, conforma lo que se conoce como Circulación General de la Atmósfera. La circulación general es el mecanismo por el cual son redistribuidos la energía, el momento cinético y el vapor de agua, a efecto de asegurar que el régimen climatológico sea estacionario: si deja de cumplirse el balance energético, unas zonas se calentarían y otras se enfriarían permanentemente; si falla el balance de momento cinético la rotación de la tierra aumentaría indefinidamente o si deja de tener validez el balance de hídrico, el vapor de agua se acumularía indefinidamente en algunas áreas y tendería a desaparecer en otras.

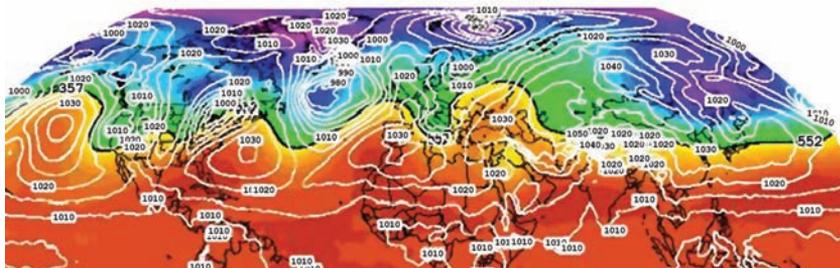
Verticalmente, en un corte meridional existe también una conexión entre la atmósfera tropical y las latitudes medias y altas, es decir, una circulación de norte a sur, en la cual el aire se eleva en el Ecuador y desciende a la altura de los subtrópicos, formando unas celdas de circulación, comúnmente conocidas como circulación de Hadley; la parte ascendente de estas celdas coincide con la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) situada sobre la baja presión ecuatorial y la parte subsidente corresponde a las altas presiones subtropicales. En las latitudes medias se observan las celdas de Ferrell y en las altas, las polares; la parte ascendente, en el medio de estas dos celdas, está cerca del frente polar y es la zona de acción de los frentes atmosféricos. Estas celdas también se desplazan durante el año hacia el polo correspondiente al hemisferio de verano.

En la Figura 1.2 se presentan de manera esquemática los sistemas de presión atmosférica y los principales elementos de la circulación de la atmósfera en escala global. En la mencionada figura es posible observar la baja presión ecuatorial, la franja de altas presiones subtropicales, las bajas presiones de latitudes medias y las altas presiones de las regiones polares. Se destaca el cinturón de vientos del Este en el trópico (alisios), los cuales convergen en la ZCIT, los vientos del Oeste de latitudes medias y los vientos del Este de las zonas polares. Igualmente, se presentan en dicha figura la posición de la corriente en chorro polar: una localizada sobre los 50°N y la otra sobre los 40°S. La posición de la ZCIT está cerca del Ecuador térmico (la isolínea de máxima temperatura media anual) y del eje de la vaguada (baja presión) ecuatorial. Estos elementos tienen un desplazamiento estacional hacia el hemisferio de verano; por ejemplo, en junio la ZCIT tiene la posición más al norte, en el hemisferio norte.

La anterior es una representación de la circulación promediada zonalmente. Sin embargo, al observar en mayor detalle la circulación de la atmósfera, es posible identificar algunas particularidades que la diferencian de este modelo generalizado. Así por ejemplo, en las latitudes medias, la corriente chorro polar y los vientos del Oeste no se presenta como un flujo zonal de Oeste a Este o con vientos del



**Figura 1.2.** Franjas zonales (latitudinales) de presión atmosférica y patrones generales de la circulación general de la atmósfera. (Adaptado de *Global circulation of Earth's atmosphere* (adaptado de <http://www.sealevel.jpl.nasa.gov>).

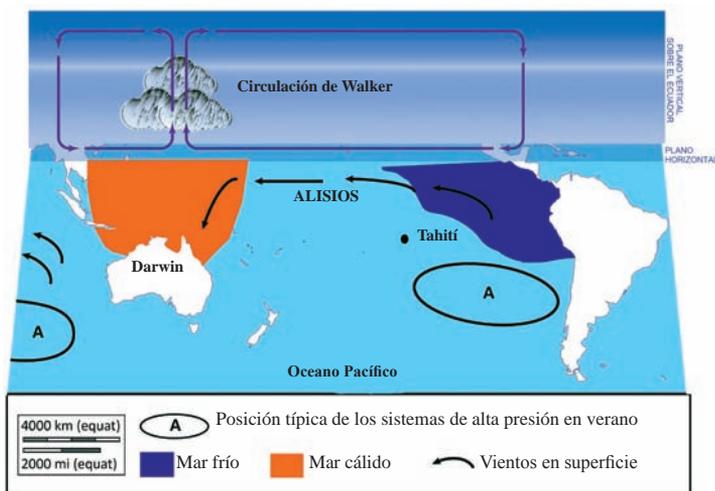


**Figura 1.3.** Posición de la corriente chorro (franja señalada en verde) en el hemisferio norte y de las ondas Rossby atmosféricas asociadas a la misma. Las líneas blancas son isobaras con el valor de la presión atmosférica a nivel del mar correspondiente en hPa; los colores indican la temperatura del aire en °C: rojo - muy cálido; violeta - muy frío. (Tomado de [http://www.meteogalicia.es/meteo/galego/Rosby\\_g.htm](http://www.meteogalicia.es/meteo/galego/Rosby_g.htm)).

suroeste al noroeste, sino que se presentan ondulaciones como las que se muestran esquemáticamente en la Figura 1.3. Aquí se presentan las ondas conocidas como ondas Rossby atmosféricas (longitud de Oeste a Este de 8000-10000 kilómetros), las cuales son responsables de llevar calor del trópico y frío de las zonas polares hacia las latitudes medias. De su localización, amplitud y orientación depende el transporte de masa (particularmente vapor de agua) y energía (calor) que determina el clima de las regiones.

De otra parte, la distribución de la temperatura de la superficie del mar y de la presión atmosférica en la franja ecuatorial del océano Pacífico favorece el desarrollo de una circulación de tipo zonal, es decir en el sentido Oeste-Este-Oeste. Esta circulación, conocida como la circulación de Walker, hace referencia al marcado contraste que existe entre el sector occidental del océano Pacífico tropical, caracterizada por la ocurrencia de fuertes precipitaciones, asociadas a las altas temperaturas de la superficie del océano y la baja presión atmosférica predominante en esta región y, el sector oriental, donde predominan condiciones secas, favorecidas por la relativamente fría superficie del mar y la alta presión atmosférica de esta zona. En la Figura 1.4 se aprecia un esquema generalizado de las características más importantes de esta circulación zonal.

En la circulación atmosférica se desarrollan sistemas de menor escala (1000-3000 kilómetros) denominados de escala sinóptica, los cuales se perciben en los mapas del tiempo (cartas sinópticas) como ciclones (núcleos de baja presión), anticiclones (núcleos de alta presión), vaguadas (ondulaciones asociadas a baja presión), dorsales (ondulaciones asociadas a las altas presiones), frentes atmosféricos (límite entre masas de aire frío y aire cálido), entre otros. En la zona tropical estos sistemas están representados por las ondas y los ciclones tropicales (depresiones, tormentas y huracanes); la escala temporal de estos es de 3-5 días, lo cual es el tiempo que gasta el sistema en desplazarse completamente sobre un lugar o región determinada.



**Figura 1.4** Representación esquemática de la circulación zonal del aire (Circulación de Walker) sobre la franja tropical del océano Pacífico. Se observa el contraste térmico de las aguas superficiales entre los sectores occidental y oriental de la cuenca. (Adaptado de ilustración similar publicada por la Oficina de Meteorología –Australia).

La intensidad y frecuencia de los sistemas de escala sinóptica dependen de las particularidades de los procesos de mayor escala y de la estacionalidad.

En la escala local y regional se desarrollan sistemas en áreas de 10 a 100 kilómetros (mesoescala) que tienen una duración de horas. Estos sistemas son, por ejemplo, la brisas mar-tierra o tierra-mar, los complejos convectivos o sistemas de tormentas y la circulación valle-montaña o montaña-valle.

Los fenómenos atmosféricos que se observan en un momento determinado son el producto de la dinámica atmosférica que consiste en la compleja interacción de procesos de diversa escala como los que se mencionaron arriba: ondas Rossby, sistemas sinópticos y de mesoescala, entre otros. El tiempo atmosférico es el estado de la atmósfera en un momento dado el cual se genera por la compleja dinámica resumida anteriormente. Así que cuando se habla del estado tiempo se hace referencia a las situaciones cálidas o frías, secas o húmedas, de cielo nublado o despejado, observada en ese momento.

### **1.3. El clima**

El clima es un factor ambiental que comúnmente se define como el estado medio de la atmósfera que representa las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar, en una región o en el planeta entero, durante un período determinado (varios meses, años). Estas condiciones predominantes están controladas por factores radiativos forzantes (energía solar y el balance de radiación del sistema superficie terrestre – atmósfera, resultante de lo que llega al sistema, lo que se refleja (albedo), lo que emite la superficie y lo que retiene la atmósfera por su efecto invernadero), por la interacción de procesos que, en la gran escala espacio – temporal, ocurren en los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera y antropósfera) y por factores físico-geográficos (latitud, altitud, continentalidad, orografía, circulación atmosférica y corrientes oceánicas, como los principales) del lugar en particular (ver *Trenberth, 1992; Hartmann, 1994; Hidore y otros, 2009; Rohli y Vega, 2012*).

Las variaciones que se podrían presentar en la latitud, la altitud, la continentalidad y la orografía de un lugar están asociadas a procesos de muy largo plazo, por lo cual no son notorias en la escala de variabilidad interanual e interdecadal; en tanto que la circulación oceánica y atmosférica es muy variable y se caracteriza por presentar oscilaciones desde la escala intraestacional (de unos cuantos meses) hacia adelante (años, décadas), con lo cual se generan variaciones notorias en el clima de un lugar que, al alcanzar valores extremos, pueden producir impactos considerables en diversos aspectos de la sociedad.

La circulación atmosférica, juega un papel importante en el clima ya que es la responsable de distribuir la energía (calor) y la masa (vapor de agua) alrededor del planeta, ya sea sobre las áreas continentales o marinas. Cualquier alteración de los patrones de circulación general de la atmósfera, genera anomalías climáticas en diferentes regiones de mundo (particularmente en la temperatura del aire y en la precipitación).

Para determinar el clima de un lugar es necesario basarse en la valoración (cualitativa o cuantitativa) de algunos elementos como la temperatura media, la precipitación en período determinado, los vientos predominantes, etc. (variables climatológicas). Estas se diferencian de las variables meteorológicas en que son un promedio, o una moda o un valor de frecuencia para un período dado.

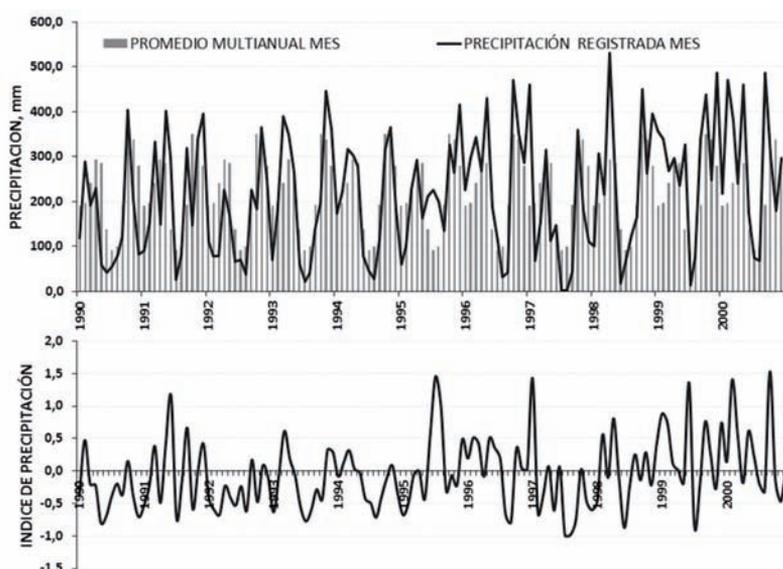
## **1.4. La variabilidad climática**

El clima varía en diversas escalas de tiempo y espacio. A través de los años, desde épocas remotas, se han presentado fluctuaciones del clima en diversas escalas de tiempo. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por procesos en los distintos componentes del sistema climático y por cambios en los factores radiativos forzantes. En diferentes años, los valores de las variables climatológicas (temperatura del aire, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal (condición generalmente representada por el valor promedio de una variable climatológica en un período de por lo menos 30 años); la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (la diferencia resultante entre el valor de la variable climatológica y su valor promedio). Al analizar las secuencias históricas de anomalías de una variable climatológica determinada para un lugar dado es posible observar una serie de fluctuaciones en las que se destacan señales con períodos de meses, años y decenios que evidencian la variabilidad climática en las escalas intraestacional, interanual e interdecadal, respectivamente.

### ***1.4.1. Variabilidad Climática Intraestacional***

La variabilidad climática intraestacional es menos notoria a la simple percepción del ser humano. No obstante, existen evidencias que dentro de las estaciones (verano o invierno en las latitudes medias; temporada lluviosa o temporada seca en la zona tropical) se presentan oscilaciones que determinan las condiciones de tiempo durante decenas de días o de uno a dos meses. En la Figura 1.5 se ilustra la variabilidad intraestacional de la precipitación: Año a año debería repetirse el ciclo anual (expresado en las barras grises); sin embargo, en la realidad en un mes determinado llueve más o menos (ver línea negra en la Figura 1.5) del valor correspondiente al promedio de

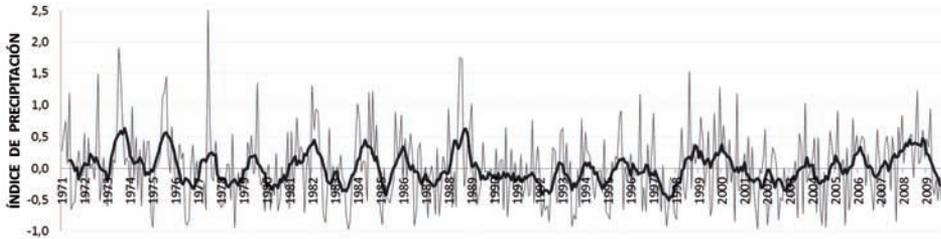
ese mes (como se puede ver tanto el gráfico superior como en el inferior de la figura). Dentro de las oscilaciones intraestacionales de la precipitación y de otras variables climatológicas se destaca una señal de tipo ondulatorio, denominada de 30-60 días. Ésta ha sido detectada en la actividad convectiva en el Pacífico Tropical Oriental, en la presión atmosférica, en las anomalías de vientos en altura y en la precipitación de esta región y de la América Tropical. Gran parte de estas oscilaciones están asociadas a las ondas de Madden-Julían, descubiertas en 1971 en el campo de la presión tropical (en el capítulo 5 se describen con mayor detalle estas ondas).



**Figura 1.5** *Arriba:* Comportamiento de la precipitación (línea negra) durante el período 1990-1994 comparado con los promedios multianuales de cada mes (barras en azul) que representan el ciclo anual de la precipitación. *Abajo:* índice de precipitación calculado con los datos del gráfico superior, que indica los meses en los que la precipitación estuvo por encima (valores positivos) o por debajo (valores negativos) de lo normal. Las fluctuaciones que se observan mes a mes en el gráfico inferior evidencian la variabilidad climática intraestacional, en este caso, expresada en la precipitación.

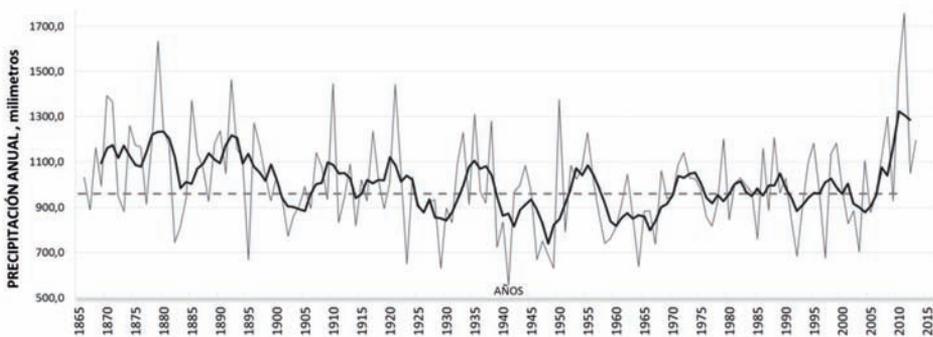
#### ***1.4.2. Variabilidad Climática Interanual***

A esta escala corresponden las variaciones que se presentan en las variables climatológicas de año en año. Normalmente se percibe a través de observar que la precipitación de la estación lluviosa en un determinado lugar, no siempre es la misma de un año a otro, sino que fluctúa por encima o por debajo de lo normal. En la Figura 1.6 con una serie suavizada de un índice de precipitación se ilustran los ciclos interanuales de la variabilidad climática.



**Figura 1.6.** Variabilidad de un índice de precipitación calculado con datos de una estación climatológica del territorio colombiano. En la línea gris claro se observa la variabilidad intraestacional; la línea negra (serie suavizada para filtrar las fluctuaciones intraestacionales), muestra las oscilaciones interanuales.

Un ejemplo típico de la variabilidad climática interanual corresponde a los fenómenos enmarcados dentro del ciclo El Niño - La Niña - Oscilación del Sur (Rasmuson y Carpentier, 1982; Philander, 1990; Ropelewski y Halpert, 1995) que, como se verá adelante, tienen período entre 2 y 7 años. Otras fluctuaciones de las variables climáticas en la escala interanual podrían estar asociadas con la Oscilación Cuasibienal, la cual corresponde a una oscilación de largo plazo en la dirección del viento zonal de la baja y media estratosfera ecuatorial, con un período irregular que varía entre 20 y 35 meses. En cada lapso se alternan los vientos de componente Este con los de componente Oeste. (Ver la descripción de la Oscilación Cuasibienal en el punto 5.2)



**Figura 1.7.** Serie (suavizada con media móvil) de precipitación anual del Observatorio Meteorológico Nacional (Bogotá) en el periodo 1866-2000. Fuente de datos: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM Colombia y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR; procesados por el Grupo de investigación “Tiempo, clima y sociedad)

### ***1.4.3 Variabilidad Climática Interdecadal***

En esta escala temporal se manifiestan fluctuaciones del clima con períodos de decenios. Comparativamente con la variabilidad interanual, la amplitud de estas oscilaciones es menor. Ésta es una de las razones por las cuales este tipo de variabilidad pasa desapercibida para el común de la gente. No obstante, estas fluctuaciones de largo plazo influyen en diversos procesos físico-bióticos y en aspectos de la sociedad. Como ilustración de la variabilidad interdecadal en la Figura 1.7 se presenta una serie de precipitación anual de Bogotá, durante el período 1866-2015, serie que ha sido construida a partir de las mediciones efectuadas en diferentes puntos en la Sabana de Bogotá.

### **Referencias Bibliográficas**

- Hartmann, D. L 1994.: *Global Physical Climatology*. San Diego. Academic Press, 412p.
- Hidore J.J, Oliver J.E., Snow M., Snow R., 2009: *Climatology: An Atmospheric Science*. 3rd Edition. Prentice Hall, New York. 408 p.
- Philander S.G.H., 1990: *El Niño, La Niña and Southern Oscillation*. Academic Press, 291p.
- Rasmuson E.M., Carpentier T.C., 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, pp. 354-384.
- Rohli R.V., Vega A.J., 2012: *Climatology*. Second Edition. Jones & Bartlet Learning. Sudbury MA. 425 p.
- Ropelewski C.F., Halpert M.S., 1995: *Quantifyng Southern Oscillation-Precipitation Relationships*
- Trenberth, K. 1992: *Climate System Modelling*, Cambridge University Press, Cambridge.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO DE EL NIÑO

---

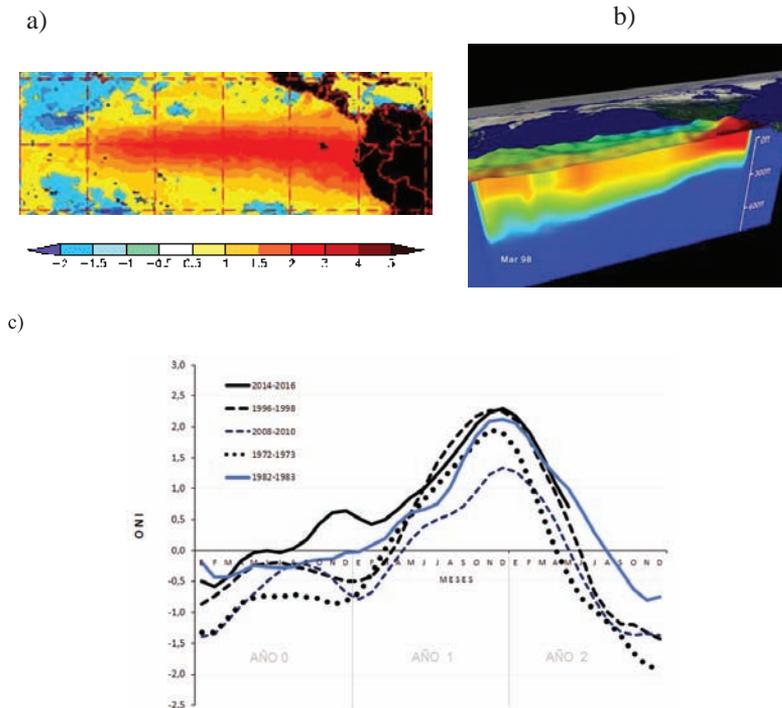
El fenómeno El Niño es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical. Aunque este fenómeno se viene presentando desde tiempos muy remotos (hay evidencias paleoclimáticas mostradas por *Thompson y otros*(1984); *Díaz y Markgraf, 1993*; *Rodbell y otros, 1999*; *Woodroffe y otros, 2003*) y, a pesar de que se tiene reportes de eventos desde el siglo XVI (ver *Quinn y otros, 1987*; *Hocquenghem y Ortlieb, 1992*), solo en la segunda mitad del siglo XX se inició su estudio en forma detallada. Las investigaciones sobre el fenómeno tuvieron un gran impulso a partir del evento de 1972-1973 que produjo grandes impactos socioeconómicos en diferentes países dentro y fuera de la región del Pacífico Oriental. A partir de entonces se ha incrementado el número de estudios sobre este fenómeno y sobre su papel en la variabilidad climática interanual. Desde entonces, en la literatura científica sobre el tema se destacan estudios como los de *Walker, 1923*; *Wyrski, 1975*; *Rasmuson y Carpentier, 1982*; *Rasmusson, 1985*; *Quinn y otros, 1987*; *Ropelewski y Halpert, 1987*; *Enfield, 1989*; *Philander, 1990*, por haber marcado hitos en la historia de la investigación del fenómeno. Síntesis completas del desarrollo histórico del conocimiento sobre la materia hasta la década de los 80s, han sido elaboradas por *Enfield, 1989*; *Philander, 1990*, *Arntz y Fahrback, 1996*; *Latif y otros, 1994* *Capel, 1999*. En el primer decenio del siglo XXI hubo aportes importantes a la comprensión del fenómeno, por ejemplo, la descripción de El Niño-modoki (*Ashok y otros, 2007*) o El Niño del Pacífico Central. Las revisiones más recientes de *Scheinbaum 2003*; *Guilyardi y otros, 2009*; *Sarachik & Cane, 2010*; *Collins y otros, 2010*; *Vecchi y Wittenberg (2010)*, sintetizan el progreso logrado en el último decenio del siglo XX y primero del XXI en cuanto a la comprensión de los procesos relacionados con el origen y desarrollo del fenómeno como de su predicción.

A través de su efecto climático, el fenómeno El Niño tiene un gran impacto socioeconómico y ambiental en diferentes países (ver Capítulo 7). Los eventos pasados han dejado ejemplos claros de esta influencia. Basta mencionar los problemas ocasionados por los fenómenos ocurridos en 1972-1973 y 1982-1983 a la pesca del Perú (*Enfield, 1989*) y por el evento de 1991-1992 a los recursos hidroenergéticos de Colombia (*CAF, 2000*). El efecto climático de este fenómeno no se limita a la región

de América tropical, sino que se extiende a otras latitudes y regiones del planeta (ver *Glantz, 1996*). Así, por ejemplo, son muy conocidas las sequías en el norte de Australia, las oleadas de calor o las inundaciones en Norteamérica y Europa debidas al fenómeno de El Niño (*Caviedes, 2001*).

## 2.1. Generalidades sobre el fenómeno de El Niño

Antes de iniciar la descripción de los aspectos relacionados con el *Fenómeno El Niño*, es necesario destacar la diferencia que hay entre éste y la *corriente El Niño*. Al hablar de la corriente El Niño se hace referencia a una corriente marina de agua ligeramente cálida proveniente de occidente hacia el oriente en el área ecuatorial del Pacífico que anualmente, por el mes de diciembre, aparece frente a las costas de



**Figura 2.1.** Distribución de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical asociadas al evento El Niño 1997-1998 (a), tomada de la página Web de la: NOAA/PMEL/TAO Project, Estados Unidos de América; imagen tridimensional representando las anomalías de TSM registradas en marzo de 1998 (b) según <http://www.earthobservatory.nasa.gov>; comportamiento del índice Oceánico El Niño (ONI), en °C, que señala las anomalías de la temperatura de la superficie del mar del Pacífico centro-oriental, desde el año previo al comienzo de cada uno de los eventos de 1997-1998, 2009-2010, 2015-2016 (según el ONI publicado en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt> a 18 de julio de 2016).

Perú y Ecuador. Debido a que esta corriente se presenta en esta época del año, los nativos la relacionaron con la Navidad y le dieron el nombre de El Niño, asociándola a la creencia cristiana del nacimiento de Jesús. En épocas durante las cuales se observaban calentamientos anormales de las aguas del mar en esta región, la gente asumía que la corriente El Niño se manifestaba con mayor intensidad y denominó estos eventos anómalos como fenómeno El Niño para destacar la “inusual intensidad” de la corriente del mismo nombre.

Así, a través de la historia, el término fenómeno El Niño se introdujo en la cultura de los países de la región, particularmente en Perú y Ecuador.

A partir del episodio cálido de 1972-1973, la comunidad científica adoptó este último término para denominar el calentamiento del sector oriental y central del Pacífico tropical y en la actualidad se usa para referirse específicamente a estos eventos anómalos. Hoy en día, el término Fenómeno El Niño es usado en todos los idiomas y está asociado a la aparición y permanencia por varios meses, generalmente más de cinco, de aguas superficiales relativamente más cálidas que lo normal (en 0,5°C y más) desde el Pacífico tropical central hasta las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (ver figura 2.1). Este calentamiento de la superficie del Océano Pacífico cubre grandes extensiones (Figura 2.1a) y por su magnitud (en promedio por el área central puede alcanzar los 2.5°C como se ve en la Figura 2.1c) afecta el clima en diferentes regiones del planeta.

## 2.2. Aspectos históricos

El fenómeno de El Niño ha venido ocurriendo desde tiempos muy remotos. Tal vez, las condiciones para que se presente este fenómeno posiblemente se establecieron desde la época en que la circulación en el sistema océano-atmósfera del Pacífico Tropical se tornó similar a la actual, lo cual pudo haber ocurrido en los últimos cinco millones de años aproximadamente, cuando se consolidaba la actual distribución de los continentes con la aparición del istmo de Panamá. (*Bogdanov y otros, 1978*, reportan que ya en el Plioceno, hace aproximadamente 4.5 millones de años, la circulación predominante en el océano Pacífico era similar a la actual). Es posible que el fenómeno El Niño se presentara desde entonces con acentuaciones y debilitamientos, o con variaciones de la frecuencia, debido a diversas fases de la variabilidad interdecadal e intersecular del océano y de la atmósfera. Sin embargo, no ha sido posible encontrar las evidencias de eventos que pudieron haber ocurrido en tiempos tan remotos. *Nash (1998)* reporta que con base en el análisis de sedimentos se ha logrado establecer que el fenómeno El Niño se ha presentado por lo menos en los últimos dos millones de años.

Para épocas más recientes, los estudios de diferentes autores permiten encontrar vestigios de eventos climáticos (períodos húmedos y secos) que podrían ser respuestas

al ciclo El Niño - La Niña - Oscilación del Sur. Así, por ejemplo, *Dueñas (1990)* sugiere que algunas sequías encontradas en estudios palinológicos que representan el clima de la región andina colombiana de los últimos 8000 años (*Van der Hammen, 1986*) podrían estar asociados con lo que él denomina paleo-Niños. No obstante, esta hipótesis resultada discutible por cuanto las metodologías utilizadas para el estudio del clima de varios miles de años, en las que se basa *Dueñas (1990)*, no tienen la resolución anual que permita ver claramente los episodios de la variabilidad climática interanual asociadas al fenómeno El Niño. Igual anotación hace *Enfield (1988; 1989)* al analizar los resultados sobre posibles eventos El Niño en el pasado presentados por *DeVries (1987)*.

*Thompson y otros, 1984*, al analizar columnas de hielo del glaciar de Quelccaya, Perú, encontraron evidencias de disminuciones recurrentes de la cantidad de nieve acumulada anualmente, lo cual asocian a los eventos El Niño más fuertes de los últimos 1500 años; no obstante, algunos autores (*Melice y otros, 1998*) afirman que estos cambios en el casquete glaciar de Quelccaya están más relacionados con la variabilidad interdecadal del Atlántico. A pesar de la dificultad para lograr la resolución que permita identificar la variabilidad climática interanual, se continúa trabajando en el análisis de los fenómenos El Niño de un pasado cada vez más remoto. Algunos resultados de las investigaciones sobre aspectos paleoclimáticos del fenómeno El Niño se reportan de manera resumida por *Díaz y Markgraf (1993)*.

La historia más reciente presenta con mayor claridad evidencias de los efectos climáticos con las cuales es posible inferir sobre el comportamiento de dicho fenómeno. *Couper-Jhonston (2000)*, compiló diferentes fuentes que reportan evidencias de fenómenos El Niño que en épocas históricas han afectado la China, la India y África, entre otros. *Hamilton y García (1986)*, con base en el análisis de documentos, de crónicas y de algunas recopilaciones y estudios realizados hasta ese entonces, identificaron los episodios El Niño más fuertes ocurridos en los tres siglos anteriores. Así, estos autores asocian a episodios cálidos El Niño muy fuertes los eventos destacados de lluvias abundantes y las inundaciones ocurridos en el Perú durante el período analizado. De igual manera *Quinn y otros (1987)*, reportan los fenómenos El Niño ocurridos en los cuatro últimos siglos. *Gimeno y otros (1998)*, a través de información indirecta, encontraron períodos secos ocurridos durante el siglo XVII en las Islas Canarias, los cuales asocian al fenómeno El Niño. También, se han encontrado señales de la influencia del fenómeno El Niño en latitudes medias y altas, como es el caso de *Wiles y otros, 1998*, quienes reportan posibles efectos de este fenómeno en Alaska, en los últimos 225 años. Y así, muchos otros autores han hallado evidencias de la ocurrencia de este fenómeno en los últimos siglos, antes del actual período de observaciones y mediciones.

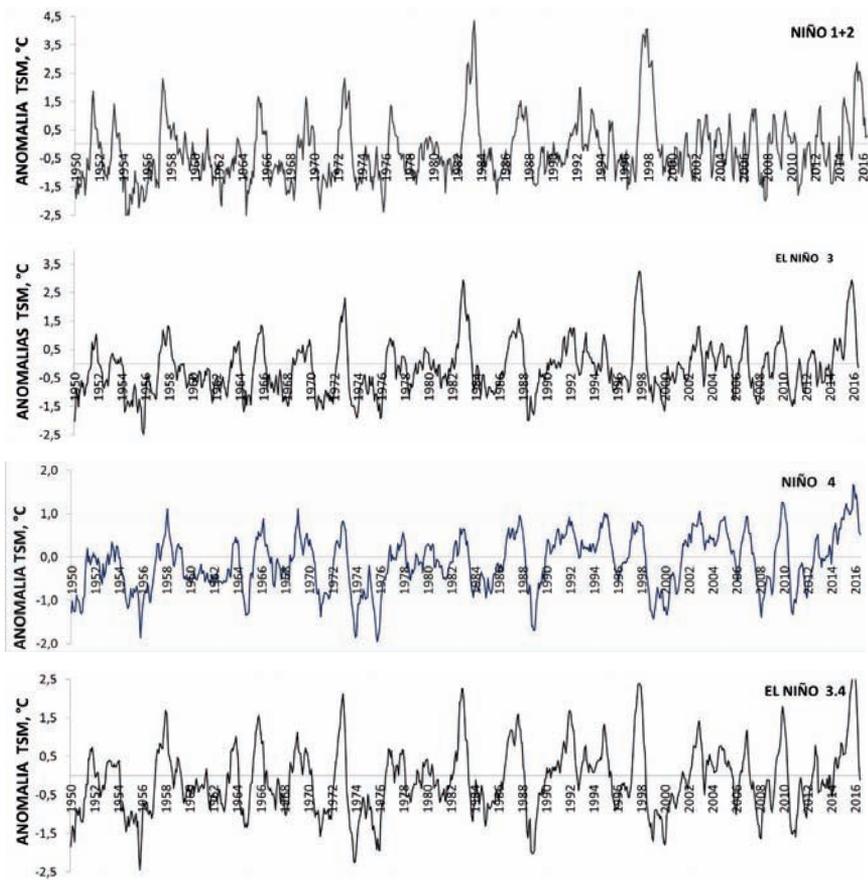
Es a partir de mediados del siglo XIX cuando se inicia el registro instrumental (mediciones directas) de parámetros atmosféricos, que de alguna manera, permiten representar las variaciones relacionadas con este fenómeno como las fluctuaciones observadas en el campo de la presión atmosférica. Estas mediciones han servido de base para conformar la secuencia histórica del Índice de Oscilación del Sur (IOS). Como se expondrá en el Capítulo 4, la Oscilación del Sur está directamente relacionada con el fenómeno El Niño y las fases negativas del IOS corresponden a calentamientos de la superficie del Pacífico tropical en el sector central y oriental; con ayuda del IOS es posible identificar los episodios El Niño ocurridos en los últimos cien años. Por ello, las primeras evidencias sobre El Niño, fundamentadas con registros *in situ*, están relacionadas con el análisis de las variaciones de la presión atmosférica en el Pacífico tropical y se reportan en la reseña histórica del Capítulo 4.

El inicio de las mediciones de la temperatura superficial del mar (TSM) y del nivel del mar (NMM) es más tardío. En la Figura 2.3 se presenta la serie histórica de la TSM registradas en Puerto Chicama (Perú), donde es posible identificar los calentamientos relacionados con el fenómeno El Niño ocurridos durante el período 1925-1998. Actualmente, gracias al rescate de datos y reconstrucción de series realizadas por el UK Meteorological Office y al proyecto Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set (COADS), es posible contar con series históricas de TSM para el Pacífico central desde el año 1870 (Rayner y otros, 1997) e inclusive desde 1850 (Woodruff y otros., 1987, 1993)

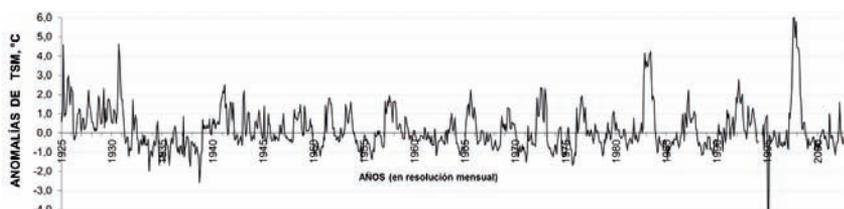
De conformidad con la relación presentada por Quinn y otros(1987) y Quinn (1993), en el siglo XX se han identificado los siguientes eventos cálidos en el Pacífico tropical central y oriental (años de inicio): 1902, 1904-1905, 1907, 1910, 1911-1912, 1914-1915, 1917, 1918-1919, 1923, 1925-1926, 1930-1931, 1932, 1939, 1940-1941, 1943, 1951, 1953, 1957-1958, 1965, 1969, 1972-1973, 1976-1977, 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992; después de los reportados por Quinn (1993) se registró el fenómeno intenso de 1997-1998. En el siglo XXI ya se han registrado los eventos del 2002-2003, 2006-2007, 2009-2010 y (2014)-2015-2016. Los eventos mejor documentados son los ocurridos en los tres últimos decenios (ver los eventos de los últimos 65 años en la Figura 2.2).

Antes de la ocurrencia del evento 1997-98, el fenómeno El Niño de 1982-83 se había considerado como el más intenso de este siglo, seguido por el evento de 1925-26. Durante el episodio intenso de 1982-83, se registraron anomalías positivas (valores por encima de lo normal) de temperatura del mar superiores a 5°C, en el sector oriental del Pacífico tropical, en junio de 1983 (Figura 2.2); en algunos puntos (Puerto Chicama, por ejemplo) las anomalías positivas estuvieron cercanas a los 10°C (Figura 2.3). El evento de 1997-98 presentó características diferentes y la TSM registró una mayor magnitud que las observadas en 1982-83. Las mayores anomalías

LOS FENÓMENOS DE EL NIÑO Y DE LA NIÑA,  
SU EFECTO CLIMÁTICO E IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS



**Figura 2.2.** Anomalías de temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical oriental (NIÑO 1+2), central (NIÑO 3), centro-occidental (NIÑO 3-4) y occidental (NIÑO 4) entre 1950 y 2012. Fuente de datos: NOAA/NCEP/CAC, EUA, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>.



**Figura 2.3.** Anomalías de temperatura de superficie del mar registradas en Puerto Chicama (Perú) desde 1925 a 2002 referidas al promedio del período 1961-1990. Nótese la magnitud de las anomalías durante los eventos de 1982-1983 y 1997-1998. Fuente de datos: Joint Institute for the Studies of the Atmosphere and Ocean (JISAO) (datos descargados de [http://jisao.washington.edu/datasets/chicama\\_sst/](http://jisao.washington.edu/datasets/chicama_sst/))

de temperatura superficial del mar se observaron en diciembre de 1997 en el sector central de Pacífico tropical y alcanzaron en promedio, para esa área, cerca de los 4°C; en Puerto Chicama, en enero de 1998, la temperatura de la superficie del mar estuvo 9.3°C, por encima de lo normal (Figura 2.3).

Cada fenómeno El Niño es un evento particular. Algunos autores han intentado elaborar un cuadro promedio, denominado *El Niño típico o canónico* utilizando algunas características comunes a los fenómenos documentados. Así, *Rasmusson y Carpentier (1982)*, con base en seis eventos del período 1950-1976, describieron el fenómeno “típico”. Posteriores análisis han mostrado que además de El Niño canónico que ocupa el oriente y centro del Pacífico tropical (por lo que también se le denomina El Niño del Pacífico oriental), se registra la situación en la que el calentamiento se confina en el Pacífico central y que se ha denominado El Niño modoki o pseudo El Niño o El Niño del Pacífico Central (*Ashok y otros, 2007; Takahashi et al., 2011*).

Con base en el cuadro típico disponible en ese entonces, se intentó predecir el desarrollo de los fenómenos El Niño, pero el episodio El Niño de 1982-1983 estuvo lejos de ajustarse a este modelo. *Rasmusson y Wallace (1983)*, encontraron que el evento de 1982-83 presentó algunas características similares al de 1940-1941, que no habían sido incluidos en el análisis para la elaboración del modelo canónico, lo cual explica, en parte, la gran diferencia entre el fenómeno real y el del modelo. A pesar de estas diferencias, El Niño canónico y la experiencia obtenida en 1982-1983, sirvieron de base para la elaboración de modelos numéricos más avanzados del fenómeno y se hicieron los primeros pronósticos aprovechando la ocurrencia del evento de 1986-1987 (*Barnet y otros, 1988*), los cuales alcanzaron cierto grado de éxito. Sin embargo, a partir de 1990 los fenómenos El Niño han venido presentando comportamientos un tanto diferentes al de los patrones establecidos y a los modelos desarrollados. Los eventos ocurrido en 1997-1998 y en (2014)-2015-2016 se han diferenciado considerablemente de lo que preveían los modelos.

Aunque un sinnúmero de particularidades acompaña a cada fenómeno El Niño, es posible identificar algunas características comunes, como lo son su génesis y fases de desarrollo. A continuación se presentan estas características.

### **2.3. Causas del fenómeno de El Niño**

El escenario natural del fenómeno El Niño es la cuenca del océano Pacífico Tropical, en consideración a su longitud y profundidad. En esta región los vientos alisios transmiten impulso a las aguas superficiales ecuatoriales relativamente cálidas, transportándolas de Este a Oeste, formando una acumulación importante de calor en el sector occidental (norte de Australia, Oceanía y el Sudeste Asiático). De otra parte, frente a la costa sudamericana se produce la surgencia de aguas frías de características

subantárticas, lo que sumado a la presencia de la corriente de Humboldt mantiene aguas frías en una vasta extensión del Pacífico ecuatorial oriental. De esta manera se establece un gradiente longitudinal de la temperatura de la superficie del mar, de tal forma que en la parte occidental las aguas son cálidas, con temperaturas del orden de 29 y 30°C, en marcado contraste con el sector oriental (costa suramericana) donde se concentran aguas relativamente frías, con temperaturas que oscilan, en término medio, entre 22°C y 24°C. Al acumularse las aguas en el sector occidental, el nivel medio del mar es mayor (alrededor de 30-40 centímetros) en este sector que en el oriental. Los vientos alisios son los que mantienen esta diferencia de nivel entre los dos sectores.

Durante algunos meses, por diversas causas<sup>1</sup>, los vientos alisios se debilitan y no logran mantener las aguas acumuladas en el sector occidental, iniciándose de esta manera el desplazamiento de estas aguas cálidas desde el Oeste hacia el Este, en forma de una onda que tiene una longitud de varios miles de kilómetros y una amplitud de unos 20 a 30 centímetros, comúnmente denominada *onda Kelvin ecuatorial*. Esta onda, como una gran masa de aguas cálidas, cruza el Pacífico tropical, en un lapso de 50 a 60 días, hasta llegar a la costa de Suramérica (Perú, Ecuador y sur de Colombia). La presencia de estas aguas anormalmente cálidas en el sector central y oriental del Océano Pacífico tropical, es lo que comúnmente se conoce como *Fenómeno El Niño*.

Durante algunos eventos, la cantidad de calor que se libera en El Niño, es mayor que la que se podría acumular en el sector occidental solo por la absorción de la radiación solar en la capa superficial del océano. Algunos autores intentan explicar el calentamiento adicional, argumentando que podría ser el producto de la energía liberada en la actividad volcánica en el fondo del océano Pacífico, particularmente en los límites de las placas tectónicas del Pacífico, de Nazca y de Cocos. Walker, (1988; 1995) por ejemplo, ha sugerido una relación entre la actividad sísmica en esta región y las variaciones de la Oscilación del Sur.

## 2.4. Etapas de desarrollo

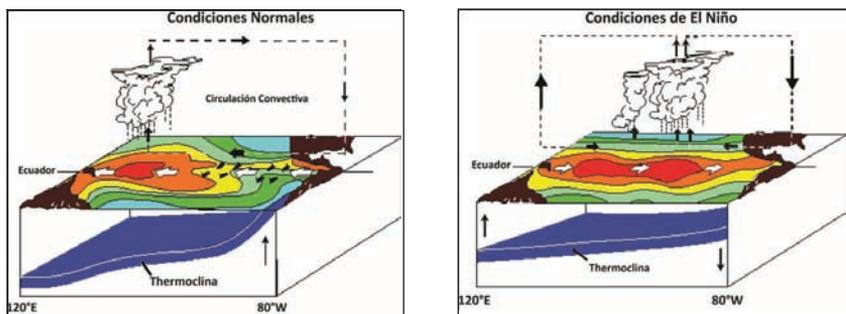
Los primeros intentos por identificar etapas en el desarrollo del fenómeno El Niño fueron realizados por Wyrski, 1975; Wyrski, 1982; Rasmusson y Carpentier, 1982; Cane, 1983. Con base en este conocimiento y con la disponibilidad de mayor información, se ha logrado analizar con mayor detalle el desarrollo de un fenómeno El Niño. Así, IDEAM (1997) basado en el análisis del proceso evolutivo de los últimos 10 fenómenos, señala las siguientes fases: inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento o retorno a la normalidad. En la Figura 2.4 se ilustran esquemáticamente las

---

<sup>1</sup> Ver una explicación de las posibles causas en el Capítulo 5.

condiciones océano atmosféricas del Pacífico tropical, durante los períodos normales y de ocurrencia de los fenómenos El Niño.

La *fase inicial* corresponde al desplazamiento de aguas cálidas desde el sector occidental del Pacífico tropical hacia la zona cercana a la línea de cambio de fecha ( $180^\circ$  de longitud). Este desplazamiento está relacionado con un relajamiento del flujo de los vientos del Este (vientos que soplan desde el oriente hacia el occidente, con algún componente norte o sur, conocidos como *alisios*) desde uno o dos meses antes, lo cual está asociado, generalmente, con un debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur oriental. Al mismo tiempo, por el debilitamiento de los alisios, se presenta una disminución de la surgencia en el sector oriental del océano. El inicio del desplazamiento de la masa de agua cálida no siempre evoluciona hasta culminar en fenómeno El Niño. En esta fase, otros procesos oceánicos y atmosféricos pueden llegar a detener y, en algunos casos, a revertir el proceso iniciado; esto se debe a que algunas veces, el desplazamiento de aguas cálidas hacia el oriente es generado por una oscilación intra-estacional intensa, que al disminuir su intensidad o cambiar de fase, no da el soporte (impulso) necesario para que el proceso de avance continúe. Esta situación ocurrió en marzo-abril de 1975 y en 1990.



**Figura 2.4.** Representación esquemática de las condiciones océano atmosféricas del Pacífico tropical, durante condiciones normales (izquierda) y de fenómeno de El Niño (derecha). Adaptado de NOAA/PMEL/TAO Project, Estados Unidos de América.

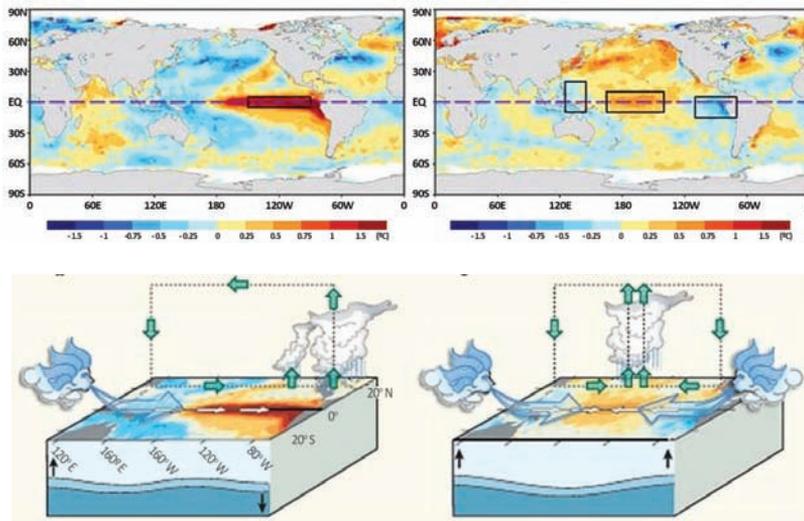
En la *fase de desarrollo* las aguas cálidas se desplazan hacia el Oriente y avanzan más al Este de la línea de cambio de fecha, como una onda Kelvin ecuatorial. Los vientos Alisios se debilitan por completo e incluso se puede invertir el flujo en el sector central y soplar como vientos de Occidente a Oriente a lo largo de la línea Ecuatorial. La termoclina (capa del océano donde se producen cambios rápidos de la temperatura con la profundidad y también considerada como la frontera de separación entre las aguas profundas y las superficiales) va hundiéndose y el nivel medio del mar se incrementa en los sectores por donde va avanzando la onda.

En la *fase de madurez* es posible encontrar el máximo calentamiento (las mayores anomalías de temperatura superficial del mar) en el sector oriental del Pacífico Tropical, frente a las costas de Perú, Ecuador y sur de Colombia (ver la Figura 2.1). En esta fase, los vientos en la mayor parte del Pacífico tropical soplan de Oeste a Este. En el sector oriental la termoclina alcanza las mayores profundidades, la surgencia prácticamente se suprime y el nivel medio del mar registra su mayor incremento. En caso de fenómenos de carácter muy fuerte, el nivel medio del mar en el Pacífico tropical es relativamente más alto en el sector oriental que en el occidental. Durante esta fase, el Índice de la Oscilación del Sur registra igualmente sus más bajos valores. Otros parámetros oceánicos y atmosféricos alcanzan valores extremos.

Finalmente, en la *fase de debilitamiento* o de *retorno a la normalidad* las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el sector oriental empiezan a disminuir y las aguas cálidas se van transportando al Occidente. En el análisis del campo térmico de la superficie a lo largo de todo el Pacífico tropical es posible encontrar ondulaciones (o fraccionamientos de la franja de máximas anomalías) que se desplazan de Este a Oeste; estas son las ondas Rossby oceánicas que redistribuyen el calor, después de la situación cálida anómala, en esta región. También es posible encontrar acumulamientos de aguas cálidas que se desplazan por la costa americana hacia el norte y hacia el sur, lo que evidencia el desplazamiento de ondas Kelvin costeras.

Los vientos alisios empiezan a recuperar su intensidad hasta llegar a alcanzar valores cercanos a los promedios históricos, lo cual favorece la recuperación de la surgencia en el sector Oriental. El nivel medio del mar se va incrementando paulatinamente en el sector occidental hasta hacerse nuevamente mayor en comparación con el oriental. La presión atmosférica en el Anticiclón del Pacífico sur se incrementa, en tanto que en el sector de Australia e Indonesia desciende hasta alcanzar una situación cercana a lo normal. El índice de Oscilación del Sur se aproxima a valores cercanos a cero, al igual que otros índices físicos de referencia.

La anterior describe lo correspondiente al denominado El Niño canónico (*Rassmunson y Carpentier, 1982*). Hacia el año 2004, el profesor Toshio Yamagata de la Universidad de Tokyo señaló la existencia de una distribución particular de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico con la concentración del calentamiento en el sector central, situación para la cual se acuñó el nombre dado por el profesor Yamagata (*Ashok y otros, 2007*): El Niño-modoki (para denominar la condición “similar pero diferente” a El Niño). La Figura 2.5 muestra las diferencias entre la situación El Niño del Pacífico oriental y El Niño modoki. Las dos configuraciones (El Niño del Pacífico oriental y El Niño-modoki) alteran el patrón de la circulación de Walker y en forma diferente llevan anomalías climáticas a diversas regiones del planeta (*Weng y otros, 2007; Ratnam y otros, 2010*), las que continúan siendo aún exploradas.



**Figura 2.5.** Diferencia de la distribución de las anomalías de la temperatura superficial del mar en °C (arriba) y del efecto en la circulación de Walker (abajo) en situaciones de El Niño canónico o El Niño del Pacífico oriental (izquierda) y El Niño modoki o El Niño del Pacífico central (derecha). Fuente: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. [http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki\\_home\\_s.html.en](http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki_home_s.html.en)

Se ha venido considerando que existen dos situaciones o dos modos: El Niño del Pacífico oriental (que sería el canónico) y El Niño del Pacífico Central o El Niño-modoki. Algunos argumentan que son dos fenómenos diferentes (*Kao y Yu, 2009*), en tanto que estudios realizados en los últimos años sugieren que los dos son parte de la misma no-linearidad de los procesos asociados a ENSO (*Takahashi y otros, 2011*).

## 2.5. Intensidad de los fenómenos El Niño

La intensidad de un fenómeno El Niño se refleja en la magnitud de las anomalías que se registran tanto en el océano (temperatura de la superficie del mar y nivel medio del mar) como en la atmósfera (en la presión y los vientos) de la cuenca del Pacífico tropical. Hay que destacar que las anomalías que se observan en ambos fluidos, a nivel local y regional, no siempre son de magnitud proporcional a la intensidad que se asigna al fenómeno. Además de la magnitud de las anomalías de la temperatura superficial del mar se dispone del Trans El Niño Index (*Trenberth y Stepaniak, 2001*); también se utiliza el Índice de Oscilación del Sur (IOS, ver capítulo 4), el Ocean El Niño Index (ONI) de la NOAA y un índice para eventos El Niño-modoki.

La naturaleza oceánica del fenómeno El Niño y la alteración del campo térmico, sirven de base para la identificación objetiva de la intensidad. Así, por ejemplo,

asumiendo una distribución normal en la secuencia temporal de las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM), se puede obtener una clasificación de los eventos (Tabla 2.1) como débiles, moderados y fuertes, con base en la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la serie. Examinando los deciles de esta serie, se puede comprobar que las anomalías correspondientes a estas tres categorías están localizadas únicamente en los deciles noveno y décimo (valores altos). Las anomalías positivas registradas en la TSM durante los fenómenos El Niño, son de mayor magnitud que las negativas registradas durante La Niña. En el Pacífico central (región Niño 3), por ejemplo, son prácticamente el doble, si comparamos la máxima desviación positiva ( $3.9^{\circ}\text{C}$ ) registrada durante El Niño 1997-98 contra la mínima desviación negativa ( $-2.0^{\circ}\text{C}$ ) registrada durante La Niña 1954-55. Algo similar ocurre analizando la desviación estándar de la serie de anomalías positivas (0.76) con la de las anomalías negativas (0.39).

**Tabla 2.1** Criterios de clasificación de los fenómenos El Niño por su intensidad con base en rangos de la desviación estándar de la serie de anomalías positivas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) registrada en el océano Pacífico central (Región Niño3) y su equivalente en grados Celsius.

Denominación	Rangos en términos de $\sigma$	Equivalencia en ( $^{\circ}\text{C}$ ) – Región Niño 3
Debil	$1.0 \sigma < a\text{TSM} < 1.5 \sigma$	$1.03^{\circ}\text{C} < a\text{TSM} < 1.48^{\circ}\text{C}$
Moderado	$1.5 \sigma < a\text{TSM} < 2.0 \sigma$	$1.48^{\circ}\text{C} < a\text{TSM} < 1.94^{\circ}\text{C}$
Fuerte	$a\text{TSM} > 2.0 \sigma$	$a\text{TSM} > 1.94^{\circ}\text{C}$

Esta clasificación de las intensidades puede tener un uso general, independientemente del punto donde se tomen las anomalías de TSM, ya que sus valores medios y desviaciones estándar son diferentes. La equivalencia en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) que aparece en la Tabla 2.1 ha sido calculada para la serie de anomalías de la Región Niño 3.

Es conveniente señalar que la intensidad del fenómeno, aunque influye, es diferente de la magnitud del efecto climático y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas. La magnitud del efecto climático depende de la época del año en que se presenta la fase extrema del fenómeno (por la estacionalidad o el ciclo anual de las variables físicas): si el efecto de El Niño consiste en déficit de precipitación, este se percibe más en la estación seca subsiguiente a una época lluviosa deficitaria. El impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad (el grado de preparación para afrontarlo, resistirlo y recuperarse) de los diferentes países, regiones y de los sectores socio-económicos nacionales afectados.

## 2.6. Duración de los fenómenos El Niño

El calentamiento de la superficie del Océano Pacífico Tropical Central (Región Niño 3), observado durante los fenómenos El Niño, tiene un promedio de duración de diez (10) meses. Considerando las anomalías de la temperatura superficial del mar en esta región (Figura 2.2), se han identificado fenómenos El Niño de muy corta duración (seis meses), como el observado entre julio y diciembre de 1951 y, otros por el contrario, de larga duración (dieciséis meses), como el evento intenso, registrado entre mayo de 1982 y agosto de 1983. Desde el punto de vista atmosférico (referidos al IOS), se pueden identificar igualmente fenómenos de muy corta duración (siete meses), como el de 1946 y eventos prolongados de hasta veintinueve meses, como el registrado en 1939-1942. Respecto a este último, *Quinn, 1987*, lo considera como dos eventos independientes: 1939 y 1940-41.

Analizando las épocas de comienzo y finalización de los fenómenos El Niño (Región Niño 3) registrados desde 1950 se ha podido establecer que éstos han comenzado durante el primer semestre, en un 60% de los casos observados y han terminado en el primer semestre del año siguiente, en un 70%.

**Tabla 2.2.** Duración e intensidad de los eventos El Niño observados durante el período 1951-2016. Composición realizada con base en los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3, del océano Pacífico tropical.

UBICACIÓN HISTÓRICA DEL EVENTO	DURACIÓN DEL EVENTO												INTENSIDAD					
	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3									
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		E	F	M	A	M
1951																		Débil
1957-1958																		Moderado
1965-1966																		Moderado
1969																		Débil
1972-1973																		Fuerte
1976-1977																		Débil
1982-1983																		Muy fuerte
1986-1987																		Moderado
1991-1992																		Fuerte
1997-1998																		Muy fuerte
2002-2003																		Moderado
2004-2005																		Débil
2006-2007																		Débil
2009-2010																		Fuerte
2014-2016																		Muy fuerte

Se considera que hubo condiciones de El Niño – modoki en 1982, 1986-1987, 1987-1988, 1990-1991, 1991-1992, 1992-1993, 1993-1994, 1994-1995, 2001-2002, 2002-2003, 2004-2005, 2006-2007 y 2009-2010

En la Tabla 2.2 se presentan los fenómenos El Niño ocurridos en los últimos 50 años, con su respectiva intensidad y duración identificadas por las anomalías de la TSM en la región central del Pacífico tropical (Niño 3). Como referencia, en la Tabla 4.1 del capítulo 4, se identifican la intensidad y duración de los fenómenos de El Niño y de La Niña, caracterizados por el Índice de la Oscilación del Sur (IOS). De la comparación de estas dos tablas se puede apreciar que el evento cálido de mayor duración, identificado por el IOS, corresponde al ocurrido en los años 1940-42, el cual se prolongó por espacio de 22 meses. También es posible encontrar eventos cálidos que solo se detectan con el IOS y no en la TSM, como es el caso de los eventos de 1953, 1992-93 y 1994. Así mismo, en el evento de 1969, no aparecen anomalías significativas en el IOS que lo cataloguen como un fenómeno El Niño.

## **2.7. Frecuencia de los fenómenos El Niño**

El calentamiento del océano relacionado con el fenómeno El Niño es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta entre cada dos y siete años. Los estudios realizados por *Enfield (1988)* concluyen que la frecuencia del fenómeno El Niño no ha tenido mayores cambios por lo menos en los últimos 400 años. *Enfield (1988)* anota igualmente que esta frecuencia podría mantenerse en el próximo siglo aún en el escenario de un calentamiento global. Sin embargo, un análisis realizado por *Kestin y otros, 1998* muestra que la frecuencia de los fenómenos varía en diferentes épocas; así, en el período 1930-1960 dominó una periodicidad de 4-7 años, mientras que en otros períodos (1880-1930 y 1960-1990) los fenómenos El Niño fueron más frecuentes (periodicidad de 2-5 años); en el período que cubre años 90 del siglo XX y primer decenio del siglo XXI los calentamientos del Pacífico central han ocurrido con una frecuencia entre 2-3 años. Parece ser que la variabilidad climática de menor frecuencia (interdecadal e intersecular) y los cambios climáticos globales afectan la frecuencia de este fenómeno.

En las dos últimas décadas solo han ocurrido tres eventos fríos (La Niña) contra cinco cálidos (El Niño). Además los dos últimos episodios más intensos del siglo XX, 1982-83 y 1997-98, tuvieron una diferencia de 15 años entre sí. La situación de 2015-2016 considerada como muy fuerte ocurrió después de 17 años de un evento de similar magnitud.

## **2.8. El cambio climático y las propiedades (intensidad, duración y frecuencia) del fenómeno El Niño**

Los cambios en los patrones climáticos implicarían cambios en el comportamiento de ENOS. Hay numerosos estudios que llevan a conclusiones contradictorias: algunos

que señalan un aumento de la frecuencia de los eventos El Niño y otros que sugieren que se observaría mayor frecuencia de las condiciones frías.

En estudios paleoclimatológicos basados en diversas fuentes *proxy data* se ha dado una mirada a los eventos El Niño de los últimos 150.000 años y se ha podido establecer, por ejemplo, que el período de los eventos cambió de aproximadamente 15 años entre hace 15.000-7000 años a 2-8 años entre 7000-presente (*Rodbell y otros, 1999*)<sup>2</sup>. De igual manera el análisis de microfósiles efectuado por *Woodroffe y otros (2003)* mostró que los eventos El Niño eran menos intensos hace 3000 años y más intensos hace 150 años en comparación con lo que se observa en la actualidad.

Según lo han indicado algunos investigadores, la frecuencia de los fenómenos El Niño ha estado variando recientemente. Así, por ejemplo, *Trenberth y Hurrell (1994)*, argumentan que desde finales de la década de los setenta hay una menor incursión hacia las condiciones frías en el Pacífico tropical y una tendencia a que los fenómenos El Niño tengan mayor frecuencia. De hecho, en el decenio de los noventa esta tendencia ha sido bastante notoria. Basados en esto, *Cubasch y otros, (2001)*, en el Capítulo 9 de la Tercera Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático admiten que las tendencias de la temperatura de la superficie del mar van hacia condiciones parecidas a las de El Niño. Sin embargo, es prematuro aún considerar esta última tendencia, muy marcada en el último decenio del siglo XX, como el efecto del cambio climático sobre ENOS porque podría ser la expresión de una fase cálida de algún ciclo de la variabilidad climática interdecadal.

En el marco del Climate Models Intercomparison Program (CMIP3) que formó parte de la Cuarta Evaluación del IPCC, *Collins y otros (2005)* prestaron atención al comportamiento de ENOS en los diferentes modelos en relación con el calentamiento global y obtuvieron que no habría cambio hacia a condiciones permanentes tipo El Niño o La Niña. No obstante señalaron la dependencia de los resultados de las características de los modelos incluidos en la comparación y de los experimentos que no barrieron todos los modos y variables que inducen incertidumbre en la definición del comportamiento de ENOS.

En un trabajo efectuado por *Zelle y otros (2005)* en el que se utilizó el Community Climate System Model (CCSM) del NCAR para realizar un ensamble de 64 miembros para el escenarios “Business as usual”, tampoco encontraron un cambio significativo en la frecuencia, amplitud y los patrones espaciales de ENOS, lo que los investigadores atribuyen a la baja capacidad del modelo de representar los cambios en la tensión del viento debidos a los cambios en la temperatura superficial del mar.

---

<sup>2</sup> Llama la atención que en la primera época estaba ocurriendo el calentamiento desde el último pleniglacial al Máximo del Holoceno medio; la segunda época mencionada, es el proceso de enfriamiento de largo plazo que está ocurriendo después de este óptimo interglacial.

*Toniazzo (2006)* con la ayuda de un modelo climático global estudió el comportamiento de las propiedades (amplitud, duración y frecuencia) de ENOS en tres climas diferentes (el último pleniglacial, el clima preindustrial y un clima generado por la cuadruplicación del dióxido de carbono) encontrando que en el paso de la primera condición a la última no habían grandes cambios en la amplitud de la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar, sin embargo los eventos El Niño se hacían más cortos y los eventos muy fuertes se hacían menos frecuentes. También encontró que los patrones espaciales asociados a ENOS en el cambio simulado se trasladaban cada vez más al Este. *Merryfield (2006)* encontró que bajo un escenario de duplicación del CO<sub>2</sub> atmosférico habría una ligera reducción (5%) en el período de ENOS, lo que indicaría un aumento de la frecuencia. De otra parte *Yeh y Kirtman (2007)*, quienes utilizaron cuatro modelos diferentes para estudiar el comportamiento de ENOS bajo condiciones de cuadruplicación del dióxido de carbono, tampoco encontraron un cambio significativo en la amplitud de ENOS a pesar de los grandes cambios en la temperatura de fondo o estado medio del Pacífico tropical; sin embargo, encontraron algunas diferencias que dependían de sí el modelo está en modo lineal o no-lineal.

Evaluaciones completas efectuadas recientemente por *Vecchi y Wittenberg (2010)* y por *Collins y otros (2010)* acerca del posible efecto del calentamiento global en las características (frecuencia o intensidad) de ENOS concluyen que a la luz de los conocimientos disponibles en la actualidad aún no es posible afirmar si la actividad asociada a ENOS se incrementa o se reduce o si la frecuencia de las fases extremas de ENOS cambie en algún sentido, aunque otros investigadores (*Ashok y Yamagata, 2009; Yeh y otros, 2009*) arguyen que los eventos El Niño del Pacífico central o El Niño-modoki se están haciendo más frecuentes por el calentamiento global y el cambio climático antropogénico. En un análisis de los resultados de CMIP3 y del Cuarto Reporte del IPCC en cuanto al posible comportamiento de ENSO en un clima cambiado, *Guillyardi et al. (2009)* señalaron que no se encuentran indicios de que tal variabilidad en el sistema climático desaparezca o que se agudice.

En el Quinto Informe de Evaluación AR5 (*IPCC, 2013*) se reconoce que, aunque hay mayor información y muchos aspectos de los procesos de la dinámica de ENOS han sido mejor representada en los modelos, es difícil llegar a una conclusión acerca de los cambios que en este componente de la variabilidad climática podría generar el cambio climático. Por un lado, es aún necesario conocer mejor los procesos e incorporarlos adecuadamente en los modelos dinámicos. De otra parte, los procesos en el sistema climático son mayormente no lineales con alto grado de aleatoriedad, los que se abordan asumiendo la hipótesis de que ocurren en un sistema estacionario o ergódico (hipótesis de ergodicidad), sin embargo el cambio climático alteraría tal estacionariedad (como lo plantean *Poveda y Álvarez, 2012*) y los análisis que se efectúan para el clima futuro podrían estar presentando resultados errados. Una

solución a esto último ha sido propuesta por *Daron y Stainforth (2013)*, quienes proponen el uso de varios cientos de miembros (muchos más que los usados en la actualidad) en los ensambles multi-experimento (generalmente con diferentes condiciones iniciales), los que al representar múltiples realizaciones podrían captar los posibles cambios.

Aunque es de esperar cambios en las propiedades ENOS debido a un cambio climático, los argumentos que fundamentan cualquier hipótesis al respecto no son contundentes y aún queda mucha incertidumbre por tratar y reducir. Por esta razón las conclusiones de una u otra investigación en este tema no son del todo definitivas y se requiere aún avanzar en el conocimiento tanto del fenómeno en sí como de su interrelación con los procesos de mayor escala espacio-temporal.

## Referencias Bibliográficas

- Arntz W. y Fahrbach E., 1996: El Niño, Experimento climático de la naturaleza. Fondo de cultura económica, México.
- Ashok K., Behera S. K., Rao S. A., Weng H., Yamagata T, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, 112, C11007, doi:10.1029/2006JC003798.
- Ashok K., Yamagata T., 2009: The El Niño with a difference. *Nature*, 461, pp. 481-484
- Barnett, T., Graham N., Cane M., Zebiak S., Dolan S., O'Brien J. Legler D., 1988: On the prediction of the El Niño of 1986-1987. *Science*, vol. 241, No. 4862, p. 192-196.
- Bogdanov Yu. A., Kaplin P.A., Nikolaiev S.D., 1978: Origen y evolución del océano. Izdatelstvo Gidrometeoizdat, Leningrad, 157 p. (en ruso)
- CAF, 2000: Las lecciones de El Niño. Memorias del fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y propuestas para la región Andina. Volumen III: Colombia. Corporación Andina de Fomento (CAF). Caracas. Ex Libris, 242 p.
- Cane M.A., 1983: Oceanographic events during El Niño. *Science*, v. 222, pp. 1189-1195.
- Capel J. J, 1999: El Niño y el sistema climático terrestre. Editorial Ariel Geografía, Barcelona, 131 p.
- Collins M., et al., 2005: El Niño- or La Niña-like climate change. *Climate Dynamics*, 24, pp. 89–104.
- Collins M., An A.-I., Cai W., Ganachaud A., Guilyardi E., Jin F.-F., Jochum M., Lengaigne M., Power S., Timmerman A., Vecchi G., Wittenberg A., 2010: The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience*. 3, pp. 391-397
- Couper-Johnston R., 2000: El Niño. The Weather Phenomenon that Changed the World. Coronte Books, Hodder y Stoughton. London. 354 p.
- Cubasch U, Meehl G.A. et al., 2001: Chapter 9 in Climate Change 2001 The scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental

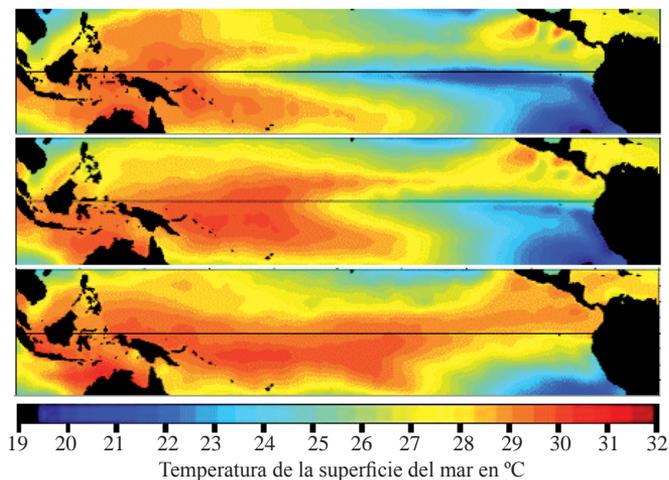
- Panel on Climate Change. (Houghton J.T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Jonson (Eds)). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 881 p
- DeVries T.J., 1987: A review of geological evidence for naciént El Niño activity in Peru. *Journal of Geoph. Res.*, v. 92, N° 14, pp. 471-479.
- Díaz H. F., Markgraf, V. (Eds), 1993: El Niño: historical and paleocmatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press, Cambridge (UK), 476 p.
- Dueñas H., 1990: The paleo-ENSO record in the lower Magdalean basin, Colombia. Separata distribuida en conferencia presentada en la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales. Bogotá, 3 p.
- Enfield D., 1988: Is El Niño Becoming More Common?. *Rev Oceanography*, november, 1988.
- Enfield D., 1989: El Niño, past and present. *Rev. of Geoph.* 27, 1/February. pp. 159-187.
- Gimeno L., García R., Hernandez E., 1998: Precipitation in the Canary Islans in the Seventeenth Century and its Relationship with El Niño Events. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Vol. 79, No. 1. pp. 89-91.
- Glantz M.H., 1996: Currents of Change. El Niño's impact on climate and society. Cambridge University Press. Cambridge-London-New York. 208 p.
- Guilyardi E., Wittenberg A., Fedorov A., Collins M., Wang C., Capotondi A., van Oldenborgh G.A., Stockdale T., 2009: Understanding El Niño in Ocean-Atmosphere General Circulation Models. Progress and Challenges. *Bulletin of the American Meteorological Society*. March, pp. 325-340.
- Hamilton K., Garcia R.C., 1986: El Niño-Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 67, pp.1354-1361.
- Hocquenghem A.M., Ortlieb L., 1992: Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bull. Inst. fr. Études andines*, 21 (1), pp.197-278.
- IDEAM (1997). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el período 1997 - 1998 en Colombia, 72 pp. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Sciences Basis. The Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WGIA5). Summary for Policemakers. World Meteorological Organization - United Nations Environmental Program. Geneva, Switzerland, 36 p.
- Kao H-Y., Yu J-Y., 2009: Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific Types of ENSO. *J. of Climate*, 22 (3), pp. 615-632.
- Kestin T.S., Karoly D.J., Yano J.I., 1998: Time-frequency variability of ENSO and Stochastic Simulations. *Journal of Climate*, v. 11, No. 9, pp. 2258-2272.

- Latif M., Barnett T.P., Cane M.A., Flügel M., Graham N.E., von Storch H., Xu J.-S., Zebiak S.E., 1994: A review of ENSO prediction studies. *Climate Dynamics*, 9, pp. 167-169.
- Melice J.L., Roucou P., 1998: Decadal time scale variability recorded in the Quelccaya summit ice core O isotopic ratio series and its relation with the sea surface temperature. *Climate Dynamics*, v. 14, N°2 (February-1998), pp.117-132.
- Merryfield W.J., 2006: Changes to ENSO under CO<sub>2</sub> Doubling in a Multimodel Ensemble. *J. of Climate*, v. 19, pp. 4009-4027.
- Nash M. J., 1998: La cólera del Niño. Revista *Time* (Latinoamerica).
- Philander S.G.H., 1990: El Niño, La Niña and Southern Oscillation. *Academic Press*, 291p.
- Quinn W.H., 1993: The Large-scale ENSO Event. The El Niño and Other Important Regional Features. *Bull. Inst. F. Etudes Andines*, 22(1), pp.13-36
- Quinn W.H., Neal V.T., Antunez de Mayolo S., 1987: El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. Geophys. Res.*, 92, pp. 14449-14461.
- Rasmusson E.M., 1985: El Niño and variations in climate. *Am. Sci.*, 73, pp. 168-177.
- Rasmusson E.M., Wallace J.M., 1983: Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*, v. 222, pp. 1195-1202.
- Rasmusson E.M., Carpentier T.C., 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, pp. 354-384.
- Ratnam J. V., Behera S. K., Masumoto Y., Takahashi K., Yamagata T., 2010 : Pacific Ocean origin for the 2009 Indian summer monsoon failure. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L07807
- Rayner N.A., Horton E.B., Parker D.E., Folland C.K., Hackett R.B., 1997: Version 2.2 of the global sea-ice and sea surface temperature data set 1903-1994. CRTN 74. (Documento de Hadley Centre for Climate Prediction and Research, UK Meteorological Office).
- Rodbell D., Seltzer G., Anderson D.M., Abbott M.B., Enfield D.B., Newman J.H., 1999: A 15,000 year record of ENSO-driven alluviation in Southwestern Ecuador. *Science*, v. 283, pp. 516–520.
- Sarachik E.S., Cane M.A., 2010: The El Niño - the Southern Oscillation phenomenon. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 369 p.
- Scheinbaum J., 2003: Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. *Geofísica Internacional*, 42 (3), pp. 291-305.
- Takahashi K., Montecinos A., Goubanova K. Dewitte B., 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and modoki El Niño. *Geophysical Research Letters*, 38, L10704, doi:10.1029/2011GL047364
- Thompson L.G., Mosley-Thompson E., Arno B.M., 1984: El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Perú. *Science*, 226, pp. 50-53.

- Trenberth K.E., Stepaniak D.P., 2001: Indices of the El Niño evolution. *J. of Climate*, 14, pp.1697-1701.
- Toniazzo T., 2006: Properties of El Niño-southern Oscillation in Different Equilibrium Climates with HadCM3. *J. of Climate*, v. 19, pp. 4854-4876.
- Trenberth K.E., Hurrell J.W., 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climat Dynamics*, 9, pp. 303-319.
- Van der Hammen T., 1986: Fluctuaciones holocénicas del nivel de inundación en la cuenca del Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (Colombia), *Geología Norandina*, No. 10.
- Vecchi G.A., Wittenberg A.T., 2010: El Niño and our future climate: where do we stand?. *WIREs Climate Change*, 1 (2), pp.260-270
- Walker D.A., 1988: Seismicity of the East Pacific Rise: Correlations with the Southern Oscillation Index? *EOS*, vol. 69, No. 857.
- Walker D. A., 1995: More Evidences Indicates Link Between El Niños and Seismicity. *EOS*, vol. 76, No. 4, pp. 1, 34 and 36.
- Walker G.T., 1923: World Weather I. Mem. of Indian Meteorolog. Dep., 24, pp. 75-131.
- Weng H., Ashok K., Behera S. K., Rao S. A., and Yamagata T., 2007 : Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. *Climate Dynamics*, 29, pp.113-129.
- Wiles G.C., D'Arrigo R.D., Jacoby G.C., 1998: Gulf of Alaska atmosphere-Ocean Variability over recent centuries inferred from coastal tree-ring records. *Climatic Change*, v. 38, N° 3, March 1998, pp. 289-306.
- Woodruff S.D., Slutz R.J., Jenne R.L., Steurer P.M., 1987: A comprehensive ocean-atmosphere data set. *Bulletin of the American Meteorological Society*. v. 68, pp.1239-1250.
- Woodroffe C. D., Beech M., Gagan M.K., 2003: Mid-late Holocene El Niño variability in the equatorial Pacific from coral microatolls. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1358, doi: 10.1029/2002GL015868.
- Wyrski K., 1975: El Niño - The dynamic response of the equatorial Pacific to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.* 5, pp. 572-584.
- Wyrski K., 1982: The Southern Oscillation, Ocean-Atmosphere Interaction and El Niño. *Marine Technology Society Journal*, v. 16, No.1, pp. 3-10.
- Yeh S-W., Kirtman B.P., 2007: ENSO Amplitude Changes due to Climate Change Projections in Different Coupled Models. *J. of Climate*, v. 20, pp. 203-217.
- Yeh S-W., Kug J-S., Dewitte B., Kwon M-H., Kirtman B.P., Jin F-F., 2009: El Niño in a changing climate. *Nature*, 461, pp.511-515.
- Zelle H., van Oldenborgh G.J., Burgers G., Dijkstra H., 2005: El Niño and Greenhouse Warming: Results from Ensemble simulations with the NCAR CCSM. *J. of Climate*, v. 18, pp. 4669-4683.

CAPÍTULO 3  
CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO DE LA NIÑA

En la variabilidad climática interanual del Océano Pacífico tropical recurrentemente se presentan condiciones relativamente frías. En la Figura 3.1 se aprecia el campo térmico superficial del océano Pacífico tropical en épocas normales (diciembre de 1990) y en épocas en las que se presentan los fenómenos El Niño (diciembre de 1997) y La Niña (diciembre de 1988). Por ser contrarias a las que se observan durante los fenómenos El Niño, a las condiciones frías extremas se les ha denominado La Niña, término que ha tenido un amplio uso durante los últimos tiempos en la comunidad científica mundial, aunque algunos autores prefieren utilizar términos como anti-El Niño, El Viejo (raras veces en los 80s y 90s), fenómeno frío del Pacífico, evento frío o fase fría de ENOS.



**Figura 3.1.** Campo de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical en épocas normales (diciembre de 1990, panel superior) y en épocas en las que se han presentado los fenómenos de El Niño (diciembre de 1997, panel del medio) y La Niña (diciembre de 1988, panel inferior). Fuente: NOAA/PMEL/TAO Project, Estados Unidos de América.

El enfriamiento inusual de las aguas superficiales del Pacífico tropical genera efectos climáticos inversos, aunque no simétricamente contrarios, a los que produce el

fenómeno El Niño y trae impactos socioeconómicos de gran magnitud a diferentes países del mundo. Sin embargo, no se le había prestado la misma atención que a El Niño hasta el evento de 1988 que causó grandes desastres en diferentes partes del planeta. Se estima que el evento 1988-89 en solo Estados Unidos de América (debido a la sequía que produjo, una de las mayores conocidas en ese país), fue la causa de pérdidas económicas por cerca de 40 mil millones de dólares y de muchas vidas humanas.

El impacto de La Niña es también marcado en el Sudeste Asiático, Filipinas e Indonesia, así como en Australia y el centro y sur de América; en la mayor parte de estas regiones, este fenómeno trae asociada abundantes e intensas lluvias, las cuales generan cuantiosos daños a la infraestructura y pérdida de vidas por crecientes súbitas, desbordamientos e inundaciones. En regiones como la costa occidental de Sudamérica (Perú y Ecuador) y el Pacífico tropical oriental La Niña propicia lluvias por debajo de lo normal e incluso sequías. (El efecto climático y los impactos de los fenómenos de El Niño y de La Niña se presentan en los capítulos 6 y 7, respectivamente)

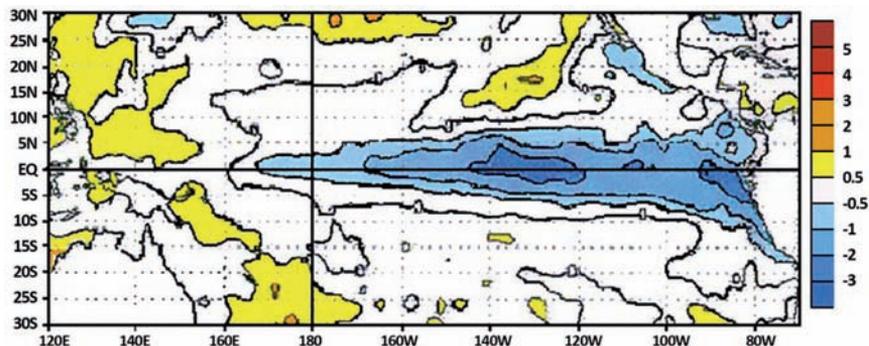
Hoy en día se conoce mejor este fenómeno y es ampliamente destacada su importancia dentro del ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur y de la variabilidad climática en general. A continuación se presenta una descripción general del fenómeno, sus causas y su evolución a la luz del conocimiento logrado en los últimos decenios.

### **3.1. Generalidades sobre el fenómeno La Niña**

El término La Niña se refiere a las condiciones frías extremas que recurrentemente, pero de manera irregular, se presentan en el sector central y oriental del Pacífico tropical durante por lo menos seis meses (*Philander, 1990; Stooksbury, 2008*). Dicho enfriamiento de la superficie del mar cubre grandes extensiones de la superficie de este océano (ver Figura 3.2) y por su magnitud altera sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta.

Aunque las condiciones La Niña son las inversas a las que se presentan en los eventos El Niño, las anomalías negativas de temperatura superficial del mar durante las primeras no son equivalentes o simétricamente inversas a las anomalías positivas que se registran durante los calentamientos. No obstante, el hecho de que de alguna manera fueran condiciones contrarias a las del fenómeno de El Niño sirvió como base para que a finales de los 80s se le empezara a denominar con el nombre con el que se conoce hoy en día, tanto en la comunidad científica, como popularmente.

En la comunidad científica, hasta finales de los 90s se debatía acerca de la definición de La Niña. Algunos autores tienden a interpretar La Niña como condiciones normales más marcadas en el Pacífico tropical. Sin embargo esta interpretación no es del todo



**Figura 3.2.** Anomalías de temperatura de la superficie del mar (°C) en la cuenca del océano Pacífico tropical durante el trimestre junio-agosto de 1988, cuando ocurrió la fase madura del evento La Niña 1988-89. Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.

cierta. En el Pacífico tropical son posibles tres condiciones: El Niño (calentamiento extremo), condiciones normales y La Niña (enfriamiento extremo). Esto último se pudo concluir de las discusiones realizadas en el Foro sobre La Niña realizado en el NCAR vía Internet (Glantz, 1998). En un resumen de estas discusiones (Glantz, 1998) se anota: “en el sentido estricto de la palabra, La Niña es un enfriamiento extremo de las aguas superficiales del Pacífico tropical central y oriental durante un período de varios meses”.

### 3.2. Aspectos Históricos

Al igual que el fenómeno El Niño, los eventos fríos La Niña se vienen presentando desde tiempos muy remotos. Al ser una de las fases del ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur dentro de la variabilidad climática interanual, los aspectos relativos a su estudio van casi en paralelo con las investigaciones sobre el fenómeno El Niño resumidas en el capítulo anterior.

Si bien los eventos fríos tipo La Niña pueden estar ocurriendo desde que se establecieron en el Océano Pacífico las corrientes marinas y el régimen de interacción océano-atmósfera que se conocen en la actualidad (o por lo menos condiciones similares a las actuales), los primeros registros acerca de su presencia aparecen en las descripciones efectuadas por diversos estudiosos quienes reportan las sequías extremas ocurridas en Piura (Perú)<sup>3</sup> desde el siglo XVI (ver, por ejemplo, Hocquenghem y Ortlieb, 1992;

<sup>3</sup> La región de Piura (Perú) es una zona árida en la que los efectos de las fases extremas del ciclo ENOS son bastante marcados. Así, a los eventos El Niño corresponden lluvias muy fuertes y a las condiciones La Niña, acentuación o intensificación de las condiciones secas (sequías).

*Klauer, 2005*); particularmente Klauer, 2005, en el capítulo 16, se refiere de manera especial a La Niña y la historia de la costa norte de Perú.

Los eventos de La Niña también se rastrean por los impactos en otras regiones del planeta. *Jiang y otros (2006)* encontraron que en el período 1470-2003 las sequías observadas en el Medio y Bajo Yangtze han estado asociadas eventos La Niña. De otra parte *Nicholson y Selato (2000)* mostraron para el período 1901-2000 la huella de La Niña en la precipitación de diferentes regiones de África a través de los efectos e impactos de ésta que generalmente son más marcado en el sur de ese continente.

### 3.3. Causas que lo generan

Como una condición intermedia o “normal” se considera la situación en que la superficie del océano Pacífico tropical oriental es fría en comparación con el sector centro-occidental y central como se muestra en la Figura 3.3, izquierda. Este enfriamiento ocurre por el proceso de surgencia o afloramiento de las aguas profundas que ocurre en los bordes orientales de los océanos, particularmente en el sector tropical, que en el caso del Pacífico se observa frente a las costas de Perú y Ecuador. En esta región, tanto la surgencia como el aporte de la corriente de Humboldt<sup>4</sup> hacen que una amplia área de la superficie del mar de la región esté relativamente fría<sup>5</sup>.

No obstante, de manera recurrente, durante algunos años se presenta una intensificación del enfriamiento de las aguas en el sector oriental y centro-oriental y un aumento notable de la superficie con aguas relativamente frías. Esto puede ocurrir debido a:

- Intensificación de la surgencia de aguas profundas frente a la costa de Perú por el fortalecimiento de los vientos alisios sobre la región.
- Surgencia de aguas profundas en el sector centro-occidental del Pacífico tropical debida al encuentro de una fase de una onda Kelvin que hace somera la termoclina y avanza hacia el oriente y una onda Rossby que avanza hacia el occidente.

Los dos procesos anteriores se pueden fortalecer mutuamente en la medida como se intensifican los alisios. Las fluctuaciones (debilitamiento o intensificación) de los alisios ocurren debido a procesos que se mencionarán en detalle en el capítulo 5.

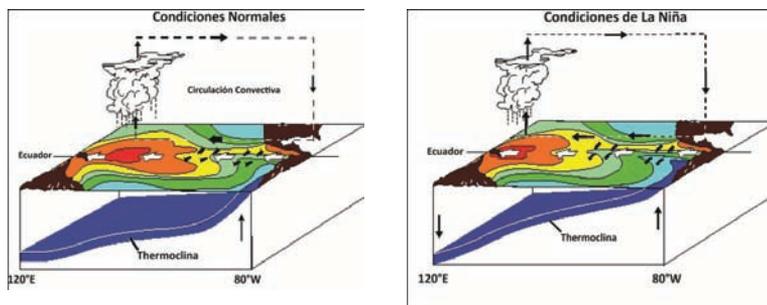
---

<sup>4</sup> La corriente fría de Humboldt, que se dirige de sur a norte por la costa chilena y frente a la costa peruana se divide en corriente costera el Perú y corriente oceánica del Perú, alcanza a verter aguas frías en la zona tropical.

<sup>5</sup> En el Pacífico Tropical Oriental el área de afloramiento se extiende a lo largo de 1.500 kilómetros con un ancho aproximado de 50 kilómetros y se caracteriza por variaciones estacionales, siendo mayor en invierno y menor en verano. Los afloramientos típicos ocurren entre 4° y 16° de latitud Sur. La temperatura de estas aguas de afloramiento es baja, alcanzando 13°C en invierno y 19°C en verano, su salinidad también es relativamente baja y su contenido de nutrientes es muy alto

### 3.4. Etapas de desarrollo

Con base en el análisis de la información producida por los centros internacionales especializados, los estudios realizados sobre el tema por el IDEAM (*Montealegre y Pabón, 1998*) de los procesos dinámicos desarrollados en la cuenca del Pacífico Tropical durante las fases frías del ciclo, permiten identificar las siguientes fases, durante el desarrollo de estos eventos: inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento o retorno a la normalidad. En la Figura 3.2 se ilustran esquemáticamente las condiciones océano atmosféricas del Pacífico tropical, durante los periodos normales y de ocurrencia del fenómeno La Niña.



**Figura 3.3.** Condiciones océano atmosféricas del Pacífico tropical, durante los periodos normales (izquierda) y de ocurrencia del fenómeno de La Niña (derecha). Adaptado de NOAA/PMEL/TAO Project, Estados Unidos de América.

La **fase inicial** está relacionada con un fortalecimiento de los vientos alisios, lo cual está asociado generalmente con un fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Suroriental. Sincrónicamente con el aumento en la intensidad de los alisios, se presenta una intensificación de la surgencia en el sector oriental del océano, frente a las costas de Ecuador y Perú, lo cual se constituye en la fuente de aguas frías en la superficie que posteriormente se propaga hacia el occidente. En ciertos casos (como La Niña de 1998-2000, por ejemplo) se registra inicialmente un ascenso de aguas profundas en el Pacífico central.

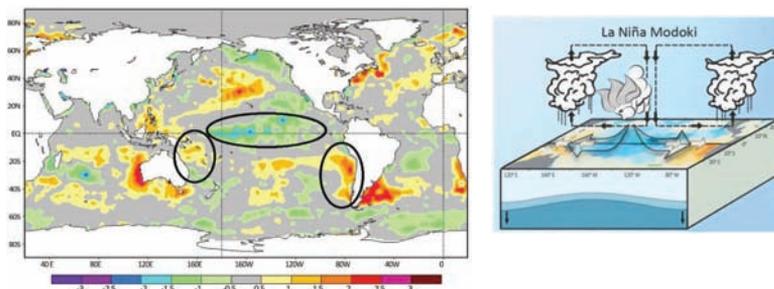
En la **fase de desarrollo** las aguas frías se desplazan desde la costa sudamericana hacia el Occidente y cubren el Pacífico tropical oriental y central. Los vientos Alisios aumentan su intensidad, pudiendo alcanzar valores entre 4 y 5 m/s, por encima de sus promedios. La termoclina aflora en el sector oriental y el nivel medio del mar presenta anomalías negativas en la zona adyacente a la costa sudamericana.

En la **fase de madurez** es posible encontrar el máximo enfriamiento (las mayores anomalías negativas de la temperatura superficial del mar) en los sectores central y

oriental del Pacífico Tropical. En esta fase, los vientos en la mayor parte del Pacífico tropical soplan con su mayor intensidad. En el sector oriental la termoclina alcanza las menores profundidades y el nivel medio del mar presenta así mismo sus menores valores. Durante esta fase, el Índice de Oscilación del Sur presenta sus más altos registros (ver capítulo 4). Otros parámetros oceánicos y atmosféricos alcanzan igualmente, valores extremos.

Por último, en la *fase de debilitamiento* o de *retorno a condiciones normales* disminuye la intensidad de los alisios y se reduce la magnitud de las anomalías negativas de la temperatura superficial del mar en el sector oriental; las aguas cálidas nuevamente fluyen desde el Occidente y la termoclina se profundiza. En el campo térmico superficial, a lo largo de todo el Pacífico tropical, es posible encontrar fraccionamientos en la franja de máximas anomalías negativas; estas ondulaciones favorecen la redistribución del calor, luego de la situación fría anómala, presentada en esta región. Es posible igualmente, encontrar remanentes de aguas frías que se desplazan por la costa americana hacia el norte y hacia el sur.

La anomalía positiva del nivel medio del mar va decreciendo paulatinamente en el sector occidental hasta alcanzar la situación normal en la que en el sector oriental el nivel es ligeramente inferior al occidental. La presión atmosférica en el Anticiclón del Pacífico Sur disminuye, en tanto que en el sector de Australia e Indonesia aumenta, hasta alcanzar una situación cercana a lo normal. El índice de Oscilación del Sur se aproxima a valores cercanos a cero, al igual que otros índices físicos de referencia.



**Figura 3.4.** Anomalías de temperatura superficial del mar (referidas al periodo 1971-2000; en °C) a finales de enero de 2012 (izquierda) y representación esquemática de la circulación de Walker (derecha) bajo condiciones La Niña mododki. Material obtenido respectivamente de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> y de [http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki\\_home\\_s.html.en](http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/enmodoki_home_s.html.en)

Hay que tener en cuenta que también en el caso de La Niña se ha establecido dos expresiones de fenómeno (Yuan y Yan, 2013): el enfriamiento que cubre el Pacífico

oriental y central (correspondiente a La Niña canónica, descrita arriba) o un enfriamiento confinado en el Pacífico central (La Niña-modoki) con calentamiento o condiciones cercana a o normal al occidente y al oriente de éste como se señala con los óvalos marcados en la Figura 3.4.

### 3.5. Intensidad de los fenómenos La Niña

La intensidad de un fenómeno La Niña también se refleja en la magnitud de las anomalías que se registran, tanto en el océano como en la atmósfera de la cuenca del Pacífico tropical, como en el caso de El Niño. No obstante, la magnitud de las anomalías de temperatura superficial del mar, no es proporcionalmente inversa a la que se observa durante El Niño. Es importante tener en cuenta que no hay simetría en las anomalías ni en la recurrencia de estos fenómenos en relación con los eventos cálidos (El Niño). Durante estos últimos, las anomalías positivas en la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico centro oriental puede llegar a 5°C, en tanto que en los episodios fríos las anomalías negativas no pasan de 2.5°C.

Al igual que se hace para la clasificación de los fenómenos El Niño por intensidad, en el caso de los fenómenos La Niña se utilizan criterios basados en la desviación estándar de la temperatura de la superficie del mar como se expone en la Tabla 3.1. Como se puede observar hay una diferencia con la Tabla 2.1 debido a que las anomalías negativas registradas durante el fenómeno La Niña no son simétricamente inversas a las que se observan durante el fenómeno El Niño, sino menores en magnitud.

**Tabla 3.1** Criterios para la clasificación de los fenómenos La Niña con base en diferentes rangos de la desviación estándar de la serie de anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) registrada en el océano Pacífico central (Región Niño3) y su equivalente en grados Celsius. Se puede comprobar que los índices de los eventos presentados en la tabla 3.1 son consistentes con los rangos de clasificación presentados en esta tabla.

Denominación	Rangos en términos de $\sigma$	Equivalencia en anomalía (°C) Región Niño 3
Débil	$1.0 \sigma < aTSM < 1.3 \sigma$	$-0.79 > aTSM > -1.06^{\circ}\text{C}$
Moderado	$1.3 \sigma < aTSM < 1.6 \sigma$	$-1.06^{\circ}\text{C} > aTSM > -1.34^{\circ}\text{C}$
Fuerte	$aTSM > 1.6 \sigma$	$aTSM < -1.34^{\circ}\text{C}$

Para el fenómeno La Niña también aplica el comentario expresado sobre el fenómeno El Niño en cuanto a que la intensidad del fenómeno, aunque influye, es diferente de

la magnitud de su efecto climático remoto y del impacto socioeconómico producido. Al igual que para los fenómenos El Niño, el efecto climático de La Niña depende de la época del año en que se presenta su fase extrema (por la estacionalidad o el ciclo anual de las variables físicas) y el impacto está más relacionado con aspectos propios del sistema socioeconómico de los diferentes países y regiones, en particular los diferentes tipos de vulnerabilidad ante fenómenos hidroclimáticos.

### **3.6. Duración de los fenómenos La Niña**

Los Fenómenos Fríos del Pacífico, tienen un promedio de duración similar a los de El Niño, de 10.3 meses. Sin embargo, se han registrado fenómenos prolongados (cerca de 21 meses), como el ocurrido en 1954-1956.

*Gray et al. (1998)*, establecieron que las condiciones frías prolongadas por tercer año consecutivo no son inusuales. Por ejemplo, hubo tres años consecutivos con condiciones frías en 1915-19 después del episodio cálido prolongado de 1904-14, los seis años consecutivos de condiciones frías durante 1933-38 que siguieron al periodo cálido de 1929-32, y los cerca de nueve años (excepto 1944) con condiciones frías entre 1942-50 que siguieron al episodio cálido de 1939-1941.

En la Tabla 3.2 se presentan los fenómenos La Niña ocurridos en los últimos 50 años, con su respectiva intensidad y duración, identificados por la TSM en la región central del Pacífico tropical (Niño 3). Como referencia, en la tabla 4.1 del capítulo 4, se identifican la intensidad y duración de los fenómenos El Niño y La Niña, caracterizados por el Índice de la Oscilación del Sur (IOS)<sup>6</sup>. De la comparación se puede apreciar que el evento frío de mayor duración, identificado por el IOS, corresponde al ocurrido en los años 1998-2000, el cual se prolongó por espacio de 22 meses. También es posible encontrar eventos fríos que solo se detectan con TSM y no con el IOS, como es el caso del evento de 1964.

Del análisis de la Tabla 3.2 se puede establecer que los eventos fríos comienzan durante el primer semestre, en un 75% de los casos observados y terminan en el primer semestre del año siguiente, en un porcentaje similar. Un porcentaje significativo (cerca del 25%) son eventos de más de un año y pueden permanecer hasta un tercer año (1954-1956, 1970-1972, 1998-2000).

---

<sup>6</sup> El Índice de Oscilación del Sur – IOS (ver capítulo 4), está directamente relacionado con el fenómeno La Niña y su fase positiva corresponde a enfriamientos de la superficie del mar. Sus mayores valores (entre 2.5 y 3.0) ocurren durante los fenómenos La Niña.

**Tabla 3.2.** Representación esquemática de la duración e intensidad de diferentes eventos La Niña, ocurridos desde 1950. Composición realizada con base en los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3, del océano Pacífico tropical. Fuente de datos: NOAA/NCEP, Estados Unidos de América.

UBICACIÓN HISTÓRICA DEL EVENTO	DURACIÓN DEL EVENTO																								INTENSIDAD				
	AÑO 1								AÑO 2								AÑO 3												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		E	F	M	A
1950 (*)	█																								Moderado				
1954-1956									█								█								Fuerte				
1964									█																Débil				
1967-1968									█																Débil				
1970-1971									█								█								Fuerte				
1973-1974	█								█																Moderado				
1975-1976									█								█								Moderado				
1984-1985	█								█																Débil				
1988-1989	█								█																Fuerte				
1995-1996	█								█																Débil				
1998-2000									█								█								Fuerte				
2000-2001									█																Débil				
2007-2008	█								█																Moderado				
2010-2012									█								█								Fuerte				

(\*) Comenzó en 1949

### 3.7. Frecuencia de los fenómenos La Niña

A pesar de la asimetría que se observa en la magnitud de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar bajo condiciones El Niño y La Niña, estas son las fases extremas de ciclos de la variabilidad climática interanual y en aspectos de frecuencia deberían ser similares. En efecto, el enfriamiento del océano relacionado con el fenómeno La Niña es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta una o dos veces por década. En promedio, la recurrencia de los eventos La Niña está en los 5 años.

No obstante, la frecuencia de los fenómenos La Niña, al igual que sucede con los eventos El Niño, está regulada por la variabilidad climática interdecadal. Así, por ejemplo, si se comparan las Tablas 2.2 y 3.2 es posible constatar que desde finales de la década de los 70s hay una menor frecuencia de condiciones frías en el Pacífico tropical y una mayor tendencia a la ocurrencia de fenómenos cálidos (El Niño). Por el contrario, desde finales de los 90s y primer decenio del siglo XXI han prevalecido más condiciones frías que cálidas en el Pacífico y los eventos cálidos ocurridos en esta época han sido débiles.

En cuanto al efecto de calentamiento global y del cambio climático en la frecuencia de los fenómenos La Niña, al igual que ocurre con el conocimiento sobre la frecuencia del fenómeno El Niño, aún no se tienen conclusiones contundentes o

definitivas. Algunos autores mencionan que con el calentamiento global habría más frecuencia de eventos cálidos (incluso se habla del establecimiento de condiciones cálidas casi permanentes en el Pacífico tropical), y menor frecuencia de condiciones frías extremas, sin embargo estas conclusiones no están aún lo suficientemente argumentadas y fundamentadas. Lo anterior podría darse si consideramos la condición anómala (cálida o fría) del futuro tomando como referencia las temperaturas medias multianuales actuales (generalmente se toma el período 1961-1990, aunque en algunos estudios han tomado 1971-2000); en ese caso, al aumentar la temperatura media del mar, sería más frecuentes los eventos El Niño y menos frecuentes La Niña. Sin embargo, si se tomaran los promedios del 2071-2100 para calcular las anomalías de ese período, la frecuencia de estas condiciones extremas podría ser similar a la observada en la actualidad y estaría afectada, al igual que en el pasado, por la variabilidad interdecadal.

## Referencias Bibliográficas

- Glantz M.H., 1998: Full Summary of Review of the Causes and Consequences of Cold Events: A La Niña Summit, 15-17 July/1998, Boulder Colorado. Tomado de la página Web <http://www.esig.ucar.edu/lanina>.
- Gray W, Knaff J, Mielke P, Kenneth J, Berry J., 1998: Extended Range Prediction of ENSO Conditions (NINO-3 SST-Anomaly) for the Period of August 1997 to February 1998 and verification of Last Year's Forecast.
- Hocquenghem A.M., Ortlieb L., 1992: Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bull. Inst. fr. Études andines*, 21 (1), pp.197-278.
- Jian T., Zhang Q., Zhu D., Wu Y., 2006: Yangtze floods and droughts (China) and teleconnections with ENSO activity (1470-2003). *Quaternary International*, 44 (1), pp. 29-37.
- Klauer A., 2005: El Niño - La Niña: El fenómeno océano-atmosférico del Pacífico Sur, un reto para la ciencia y la historia. Lima. 76 p.
- Montealegre J.E., Pabón, J. D., 1998: Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno frío del Pacífico (La Niña). Nota Técnica IDEAM-METEO/007-98. Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá, Colombia. 19 p.
- Nicholson S.E., Selato J.C., 2000: The influence of La Niña on African rainfall. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 1761-1776
- Philander S.G.H., 1990: El Niño, La Niña and Southern Oscillation. *Academic Press*, 291p.
- Stooksbury D.E., 2008: La Niña. *Encyclopedia of Water Science*, Second Edition 700-701. Retrieved January 12, 2009, from <http://www.sinab.unal.edu.co:3638/10.1081/E-EWS2-120010222>.
- Yuan Y., Yan H.-M., 2013: Different types of the La Niña events and different responses of the tropical atmosphere. *Chinese Science Bulletin*, 58 (3), pp.406-415.

CAPÍTULO 4  
LA OSCILACIÓN DEL SUR

La distribución de la temperatura superficial del mar o del continente determina en gran parte la distribución de la presión atmosférica cerca de la superficie. A las superficies cálidas corresponde baja presión atmosférica y las superficies frías, alta; así, los cambios en los patrones de distribución espacial de la temperatura cerca de la superficie produce alteraciones en el campo de la presión atmosférica. De ahí que en la escala interanual, El Niño y La Niña producen en la atmósfera lo que se denomina la Oscilación del Sur (algunos autores la denominan Oscilación Austral, más raramente Oscilación Meridional), la cual es el resultado a las fluctuaciones del campo térmico asociadas a dichos fenómenos.

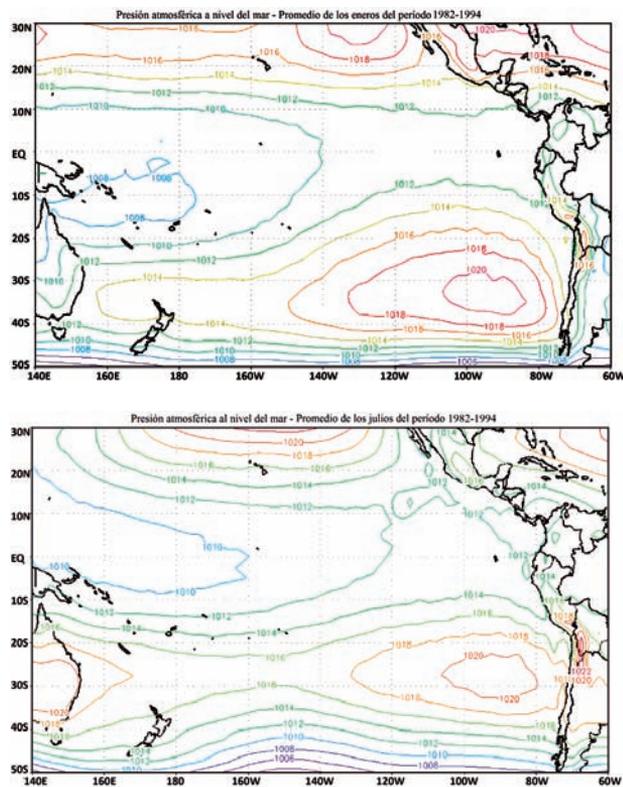
La Oscilación del Sur (OS) es la respuesta atmosférica a los procesos oceánicos del Pacífico tropical relacionados con los fenómenos El Niño y La Niña a través de la cual éstos alteran los patrones de la circulación general de la atmósfera y ejercen influencia en el clima mundial. Veamos algunos aspectos relacionados con este fenómeno atmosférico.

### **4.1 Generalidades**

El océano y la atmósfera son dos de los componentes del sistema climático en permanente interacción. La atmósfera responde a la transmisión de masa y energía que se efectúa desde la superficie del océano (y del continente) y a su vez le transmite impulso a través de la fuerza del viento que sopla sobre su superficie. Usualmente, una superficie cálida (del océano o del continente) transmite calor a la atmósfera; el aire cálido es relativamente más liviano lo cual hace que la presión atmosférica sea relativamente baja en comparación con el entorno; igualmente, una superficie fría transmite menor calor y está relacionada con presión atmosférica relativamente alta. Debido a lo anterior, el contraste térmico entre el sector occidental y central del Océano Pacífico tropical genera una distribución particular de la presión atmosférica.

#### 4.1.1 El campo medio de la presión atmosférica en las capas bajas sobre el Océano Pacífico

La distribución del calor sobre la superficie del océano Pacífico tropical, representado por la temperaturas cálidas superficiales del orden de 29 a 30°C predominantes en el borde occidental, en marcado contraste con las temperaturas superficiales relativamente frías, entre 23 y 24°C del sector oriental, induce una distribución particular de la presión atmosférica a nivel del mar, a ambos lados del océano: sobre la superficie oceánica cálida del sector occidental (Australia e Indonesia) predomina baja presión (valores promedio de presión atmosférica inferiores a los 1010 hPa), en tanto que sobre la superficie oceánica fría en la parte centro-oriental permanece un centro de alta presión atmosférica (predominan valores de presión atmosférica superiores a los 1012 hPa). Esta condición promedio que se podría considerar como situación “normal” se presenta en la figura 4.1, para los meses de enero y julio.



**Figura 4.1.** Distribución promedio (período 1982 – 1994) de la presión atmosférica (en hPa) a nivel del mar en la región del Pacífico tropical para los meses de enero (panel superior) y julio (panel inferior). FUENTE: NOAA/NCEP/NCAR Reanalysis Data Set, Estados Unidos de América.

### **4.1.2 La circulación de Walker**

La distribución de la temperatura de la superficie del mar y de la presión atmosférica en la franja ecuatorial del Pacífico favorece el desarrollo de una circulación zonal, es decir paralela a los paralelos, orientada desde la alta presión hacia la baja desde el Este hacia el Oeste (la Figura 1.4, presenta un esquema de esta configuración espacial de la temperatura de la superficie del mar, la presión atmosférica y el componente horizontal y vertical de la circulación). En efecto, sobre la superficie cálida y de baja presión atmosférica de la zona occidental se observan movimientos verticales ascendentes, se desarrolla convección intensa y producción de lluvias, en tanto que en el sector oriental, donde la superficie del mar es relativamente fría con presión atmosférica alta, se observa subsidencia de aire y predominio de condiciones secas.

Bjerknes (1961), notó que los gradientes horizontales promedio de temperatura de la superficie del mar en la franja ecuatorial del Pacífico (la diferencia térmica entre el sector oriental y occidental) pueden alcanzar valores de hasta 5 °C. Este gradiente es suficiente para generar una circulación zonal de gran escala. Este esquema de circulación zonal en la franja tropical fue denominado por Bjerknes, 1961, “circulación de Walker” (en honor del estudioso de la Oscilación del Sur). Posteriormente, se encontró que esta circulación se extiende por toda la franja ecuatorial alrededor del planeta y en la escala global es posible encontrar tres zonas de convección, las cuales están localizadas sobre la región del Congo, Pacífico occidental y sobre la Amazonía.

En la medida como se modifique la distribución espacial de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical, se altera la circulación de Walker de tal manera que las zonas de convección de esta región se trasladan a los sectores en donde esté el área con mayor temperatura.

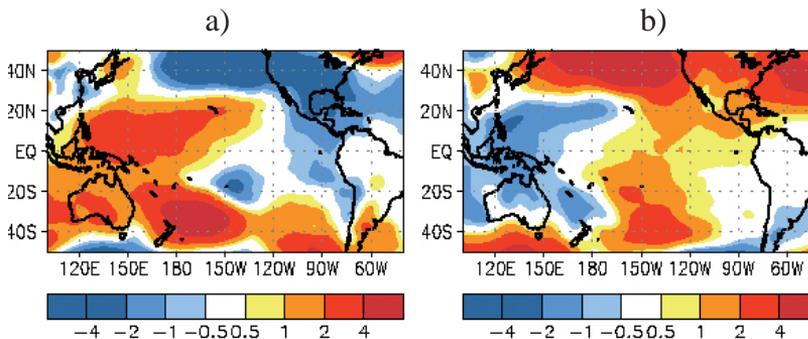
## **4.2. El campo bórico y la circulación de Walker en condiciones El Niño y La Niña**

Cuando se observan las alteraciones en el campo térmico del Pacífico tropical, inducidas por los fenómenos El Niño o La Niña, se producen cambios importantes en la distribución de la presión atmosférica en dicha región, lo que consecuentemente afecta la circulación de Walker a lo largo de la franja ecuatorial del planeta.

En el caso del fenómeno El Niño, cuando las aguas cálidas ocupan el sector oriental y central del Pacífico, la presión atmosférica en esta región presenta disminución (se encuentran promedios mensuales de presión atmosférica por debajo de los 1010 hPa). En la Figura 4.2a se presenta el ejemplo de la distribución de la presión atmosférica en el trimestre enero – marzo de 1998 cuando estaba presente el evento El Niño de 1997-98. En este tipo de eventos, la zona de intensa convección y de lluvias abundantes

se traslada al sector de la máxima temperatura y baja presión (como se representó esquemáticamente de la Figura 2.4, derecha). De esta manera, cuando las máximas anomalías de temperatura se localizan en el Pacífico oriental, las lluvias aparecen frente a la costa occidental de Sudamérica, en el sector del norte del Perú, vertiente pacífica de Ecuador y el sur de la región pacífica de Colombia.

Durante los fenómenos La Niña, cuando hay condiciones relativamente frías en el sector centro-oriental del Pacífico, ocurre lo contrario a lo anterior: la presión atmosférica es relativamente mayor que lo normal en el centro y oriente (valores mensuales superiores a los 1012.5 hPa) que en occidente (valores mensuales entre 1005 y 1010 hPa). En la figura 4.2b se presenta el ejemplo de la distribución de la presión atmosférica en el trimestre enero – marzo de 1989 cuando estaba presente el evento La Niña de 1988-89. Esta distribución afecta la circulación atmosférica en la región de tal manera que la celda convectiva de la circulación de Walker de la parte occidental se intensifica, generando lluvias abundantes allí, mientras que en el sector oriental predomina la subsidencia de masa (ver Figura 3.3, derecha).



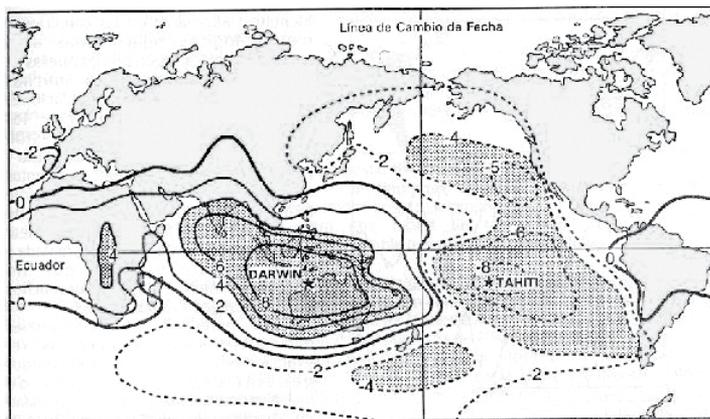
**Figura 4.2** Anomalías de la presión atmosférica a nivel del mar (en hPa). a) fenómeno El Niño enero–marzo/1998; b) fenómeno La Niña enero–marzo/1989. (FUENTE: NOAA/NCEP, Estados Unidos de América)

### 4.3. La Oscilación del Sur

La variación interanual de la presión atmosférica cerca de la superficie asociada a los fenómenos El Niño y La Niña (durante algunos años la presión atmosférica en el Pacífico central es mayor que en el occidental, en otros años ocurre lo contrario) se conoce como la Oscilación del Sur (OS). Si se buscara definir la OS se podría decir que es la alternancia interanual (en ciclo de varios años) de las anomalías positivas y negativas de la presión atmosférica entre el Pacífico tropical central y el occidental: en algunos años son positivas en el central y negativas en el occidental, en otros,

la situación es inversa. Esta relación ha sido comprobada mediante el análisis de correlación entre los valores de presión atmosférica en Tahití (isla localizada en el centro del Pacífico) y Darwin (nororiente de Australia). En la figura 4.3 se presenta los resultados de esta correlación y, como es fácil de apreciar (línea punteada), se observan valores negativos del coeficiente de correlación en el sector central del Pacífico, lo cual quiere decir que a valores altos de la presión atmosférica de Darwin corresponde valores bajos en Tahití y viceversa.

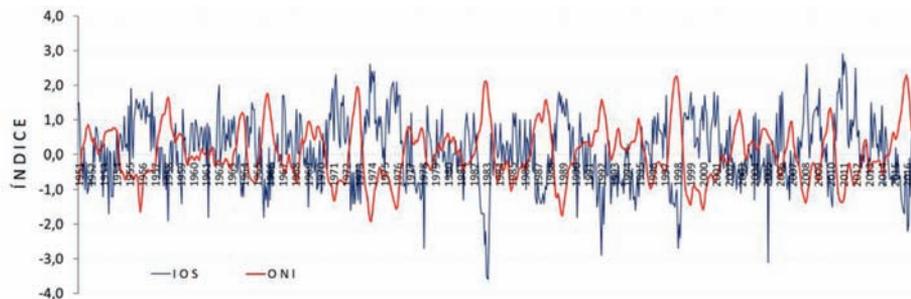
Uno de los primeros índices para el seguimiento y análisis de la OS fue propuesto por Sir Walker en 1924. Actualmente, el seguimiento de la OS se hace a través del Índice de Oscilación del Sur (IOS) que es la diferencia normalizada entre la presión atmosférica medida en Tahití (sector central del Pacífico tropical) y Darwin (norte de Australia, representa el sector occidental). Es conveniente aclarar que diferentes autores han desarrollado metodologías para el cálculo del índice de oscilación del sur. Así, por ejemplo, se tiene el índice de Troup, de Trenberth y el del Climate Analysis Center de la NOAA de Estados Unidos, entre otros. Este último es el que ha tenido amplio uso en la comunidad que hace seguimiento e investigaciones sobre el ENOS (El Niño-Oscilación del Sur). La secuencia histórica del IOS del CAC-NOAA comparada con el comportamiento del ONI se presenta en la Figura 4.4; en esta se puede apreciar la estrecha correlación inversa entre ambas variables.



**Figura 4.3.** *Isolíneas de correlación de la presión atmosférica media a nivel del mar. Las variaciones de presión en Tahití están relacionadas con las variaciones de la presión en Darwin, aunque de forma inversa (Fuente: Rasmusson, 1984).*

En épocas de fenómeno El Niño predominan valores negativos del IOS (fase negativa de la OS) y durante La Niña, valores positivos (fase positiva de la OS). Por ello, con ayuda de los valores del IOS es posible identificar los eventos El Niño y La Niña, para lo cual se establecen los rangos de variación de este parámetro dentro de los cuales

se presentan estos fenómenos (Tabla 4.1). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que hay algunas diferencias al definir la longitud de los eventos por el componente oceánico y por el atmosférico. Es posible constatar que la duración de los eventos definida por el IOS puede ser mayor (2 meses en promedio) que la definida por las anomalías de TSM.



**Figura 4.4.** Secuencias de los valores mensuales del Índice de Oscilación del Sur – IOS (línea azul) y del Ocean El Niño Index (ONI) para el período 1951 – 2016. Fuente de datos: NOAA/CAC, Estados Unidos de América.

#### 4.4. Aspectos históricos del estudio de la Oscilación del Sur

Realmente la Oscilación del Sur se identificó por los investigadores mucho antes que los fenómenos El Niño y La Niña, gracias a que ya en el siglo XIX se disponía de datos de presión atmosférica sobre el Pacífico tropical y en el Océano Indico. Según *Konnen y otros, 1998*, las mediciones de la presión atmosférica en Madrás (India) se iniciaron a partir de 1796.

Una revisión histórica detallada sobre el desarrollo del conocimiento acerca de la OS es presentado por *Mock, 1981*. Según este autor, las primeras indicaciones acerca de esta oscilación fueron sugeridas ya en 1897 por H.H. Hildebrandsson quien graficó secuencias de cerca de 10 años de datos de presión atmosférica de 68 estaciones y notó aparentes variaciones interanuales en algunas series analizadas que mostraban un balancín entre la presión atmosférica observada en Sur América y en Indonesia. Pocos años más tarde, en 1902, Norman y W.J.S. Lockyer (citado por *Mock, 1981*) confirmaron el descubrimiento de Hildebrandsson.

La Oscilación del Sur (OS) se identificó por los años 20 del siglo XX (*Brooks y Braby, 1921; Walker, 1923*). *Wallace y otros, 1998*, en su reseña histórica citan a *Brooks y Braby, 1921* como los investigadores que dieron los primeros pasos en la detección de la OS al encontrar oscilaciones interanuales en la precipitación que asociaron a variaciones en el campo del viento de la región. Un año después *Walker (1923)*

describe el fenómeno de la siguiente manera: “cuando la alta del sudeste del Pacífico presenta una presión atmosférica mayor que lo normal, la vaguada de Indonesia es más baja que lo normal”. Años más tarde, *Walker y Bliss, 1932* y *Leighly, 1933* (citado por *Wallace y otros, 1998*) dedujeron la relación existente entre los procesos del Océano Pacífico y la Oscilación del Sur. Según *Wallace y otros, 1998* *Leighly, 1933* (sorprendentemente sin datos de TSM), dedujo la relación fundamental entre esta variable, el viento en superficie y la precipitación a partir de las diferencias de presión entre dos estaciones, mucho antes de que se empezara a utilizar a Tahití y Darwin para calcular el IOS.

**Tabla 4.1.** Épocas de anomalías positivas y negativas referidas al Índice de la Oscilación del Sur (IOS), señalando los valores máximo y mínimo en cada fase.

EVENTOS EL NIÑO			EVENTOS LA NIÑA		
Duración (meses)	Fecha de inicio y de finalización	Valor mínimo del IOS	Duración (meses)	Fecha de inicio y de finalización	Valor mínimo del IOS
9	May/1951-Feb/1952	-1,1	12	Feb/1950-Abr/1951	1,5
9	May/1957-Ene/1958	-1,9	17	Jun/1955-Oct/1956	1,8
10	Jun/1865-Mar/1966	-1,8	14	Sep/1970-Oct/1971	2,3
10	May/1972-Feb/1973	-1,6	14	Ago/1973-Sep/1974	2,6
20	Jul/1976-Feb/1978	-2,7	13	Mar/1975-Mar/1976	2,1
11	Jun/1982-Abr/1983	-3,6	13	May/1988-May/1989	1,8
11	Nov/1986-Sep/1987	-1,4	11	Jul/1998-Abr/1999	1,8
14	Mar/1991-Abr/1992	-2,9	7	Oct/1999-Abr/2000	1,7
13	Oct/1992-Oct/1993	-1,4	7	Oct/2007-Abr/2008	2,6
10	Mar/1994-Dic/1994	-1,6	9	Ago/2008-Abr/2009	1,9
12	May/1997-Abr/1998	-2,7	21	Jul/2010-Mar/2012	2,9
10	May/2002-Feb/2003	-1,1			
7	Nov/2004-May/2005	-3,1			
7	Jul/2006-Ene/2007	-1,3			
6	Oct/2009-Mar/2010	-1,5			
18	Oct/2004-Abr/2016	-2,2			

Aunque la relación de la OS con el fenómeno El Niño fue notada por medio del análisis de correlación entre la TSM en Perú con el IOS en 1957 (*Berlage, 1957*), solo *Bjerknes (1961)* intentó explicar la naturaleza de esta estrecha relación. Años más tarde *Wirtky, 1975* y *Rasmusson y Carpentier, 1982*, describieron ésta relación enmarcándola dentro de un ciclo interanual de interacción océano-atmósfera que denominaron El Niño – Oscilación del Sur (ENOS en español; El Niño – Southern

Oscillation (ENSO) en inglés). Trenberth y Caron (2000) efectuaron una revisión de la OS con datos de NCEP/NCAR Reanalysis y describieron la estacionalidad de la misma y que su efecto en la precipitación es más marcado que en otras variables. En la actualidad, con base en el conocimiento de la variabilidad interanual del Pacífico tropical, se debería hablar del ciclo El Niño – La Niña – Oscilación del Sur.

Como se anotó al comienzo de este capítulo, a través de la Oscilación del Sur los fenómenos El Niño y La Niña tienen repercusiones en la circulación general de la atmósfera a una escala mayor que la región del Pacífico tropical. Dada la escala de estos fenómenos, se afecta no solo la circulación zonal de la zona tropical, sino también la circulación meridional (celda de Hadley y celda de Ferrel en latitudes medias, principalmente), y se alteran, así mismo, las características (posición y amplitud) de las ondas cuasiestacionarias y de Rossby atmosféricas. Debido a esto, el ciclo El Niño - La Niña - Oscilación del Sur se manifiesta en diferentes regiones del planeta.

## Referencias Bibliográficas

- Berlage H.P., 1957: Fluctuations of the general atmospheric circulation of more than one year, their nature and prognostic value. *K. Ned. Meteor. Inst. Meded. Verh.*, 69, 151p.
- Bjerknes J., 1961: El Niño study based on analysis of ocean surface temperatures 1935-1937. *Bulletin I-ATTC*, 5 pp. 217-307
- Brooks C.E.P., Braby H.W., 1921: The clash of the trades in the Pacific. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v. 47, pp. 1-13.
- Können G.P., Jones P.D., Kaltofen M.H., Allan R.J., 1998: Pre-1866 Extensions of the Southern Oscillation Index Using Early Indonesian and Tahitian Meteorological Readings. *J. of Climate*, v. 11, No. 9, September, pp. 2325-2339.
- Leighly J.B., 1933: Marquesan meteorology. *Univ. Calif. Publ. Geogr.*, 6(4), pp. 147-172.
- Mock D.R., 1981: The Southern Oscillation: Historical Origins. Unpublished term paper, University of Washington, Seattle, WA, 9 p. (Tomado de la Web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/misc/hxsoi.html> en consulta el 31 de Julio de 2013)
- Montealegre J.E., Zea J.A., 1992: Estudio sobre el fenómeno El Niño. Publicación especial del Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras – HIMAT.
- Rasmuson E.M., Carpentier T.C., 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, pp. 354-384.
- Trenberth K. E., Caron J.M., 2000: The Southern Oscillation Revisited: Sea Level Pressures, Surface Temperatures, and Precipitation. *J. of Climate*, 13, pp. 4358-4365
- Walker G.T., Bliss E.W., 1932: World Weather V. *Mem. Royal Met. Soc.*, 4, pp. 53-84.

- Wallace J.M., Rasmusson E.M., Mitchell T.P., Kousky V.E., Sarachik E.S., von Storch H., 1998: On the structure and evolution of ENSO-related climate variability in the tropical Pacific: Lesson from TOGA. *J. of Geoph. Res.*, v. 103, No. C7, June-1998, pp. 14.241-14.259.
- Wyrski K., 1975: El Niño - The dynamic response of the equatorial Pacific to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, pp. 572-584.
- Wyrski K., 1982: The Southern Oscillation, Ocean-Atmosphere Interaction and El Niño. *Marine Technology Society Journal*, v. 16, No.1, pp. 3-10.



CAPÍTULO 5  
SOBRE LA GÉNESIS DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA

Según lo establecido por diferentes autores y lo resumido en los capítulos anteriores, uno de los elementos claves para el inicio de los fenómenos El Niño y La Niña es el debilitamiento o fortalecimiento de los vientos alisios, respectivamente. ¿Cuáles procesos inducen variaciones en el viento de la zona tropical que propicien estos debilitamientos?

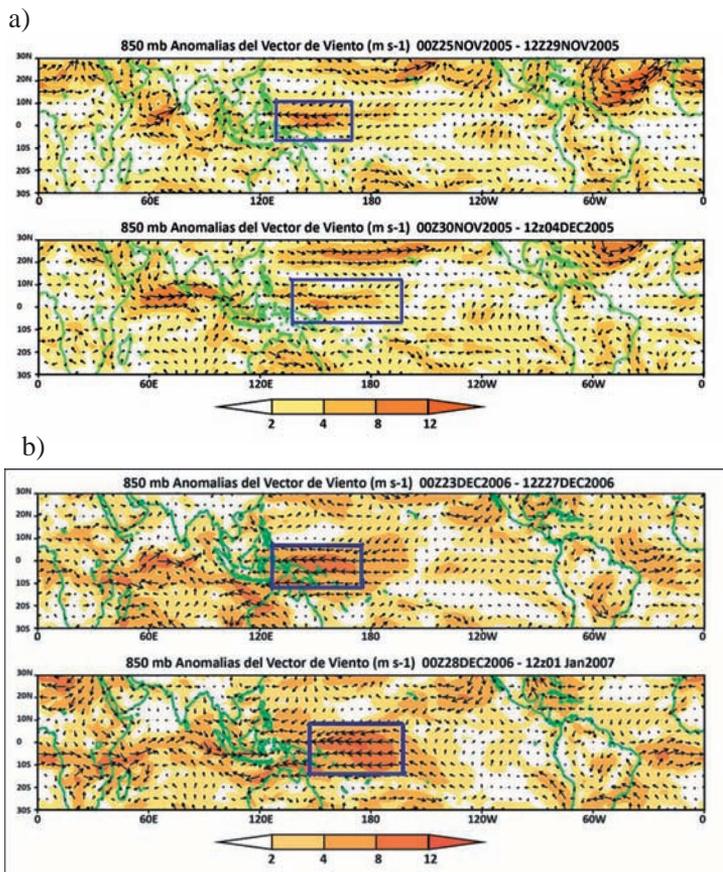
En la zona tropical se registran diversos procesos ondulatorios que inducen fluctuaciones marcadas al flujo de los alisios con intensificación o debilitamiento (o atmósfera cambio a Oestes) de los mismos. Uno de esos procesos son las Ondas de Madden y Julián (por el apellidos de los autores que las describieron por primera vez *Madden y Julián, 1971, 1972*; ver también *Madden y Julián, 1994*) las cuales corresponden a la escala intraestacional (variaciones de mes en mes). Otro fenómeno atmosférico que podría inducir variaciones periódicas al viento en la zona tropical es la denominada Oscilación Cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior (en la literatura especializada comúnmente se le denomina QBO por el nombre en inglés - Quasibiennial Oscillation), la cual está en la escala interanual; también existe un oscilación cuasibienal en la troposfera (TBO), al parecer independiente de la QBO. Eventualmente, las erupciones volcánicas pueden inducir variaciones en la velocidad del viento en la zona tropical. La compleja interacción de estos procesos ondulatorios, y tal vez algunos otros que aún no se han establecido, son los que generan situaciones de fortalecimiento o debilitamiento de los alisios que finalmente dan inicio a los mencionados fenómenos.

Es necesario agregar que en el sistema climático ocurren procesos en la escala interdecadal (decenios) que generan variabilidad en las condiciones asociadas a la génesis y desarrollo de los fenómenos El Niño y La Niña, lo que hace que en algunas épocas estos sean más o menos frecuentes, más o menos intensos. Lo mismo ocurre con los cambios climáticos de largo plazo.

Para una mejor comprensión de El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur, en este capítulo se intentará explicar uno a uno los mecanismos que en su interacción mutua configuran las situaciones de fortalecimiento o debilitamiento del viento que originan tales fenómenos.

## 5.1. Las Ondas de Madden - Julián y los fenómenos El Niño y La Niña

Las Ondas Madden-Julian (en adelante se mencionarán como OMJ) fueron descubiertas en un análisis del viento zonal que Roland Madden y Paul Julián realizaron a finales de los años 60s (utilizaron 10 años de datos de una estación localizada en la Isla Canton, en el Pacífico Occidental) y publicaron a comienzos de los 70s (*Madden y Julián, 1971, 1972*).



**Figura 5.1.** Anomalías del viento (en m/s) sobre la superficie isobárica 850 hPa para dos períodos diferentes (a- Nov/2005-Dic/2005; b- Dic/2006-Ene/2007) en el que se demuestra la aparición y desplazamiento hacia el oriente de zonas con fortalecimiento o debilitamiento de los vientos.

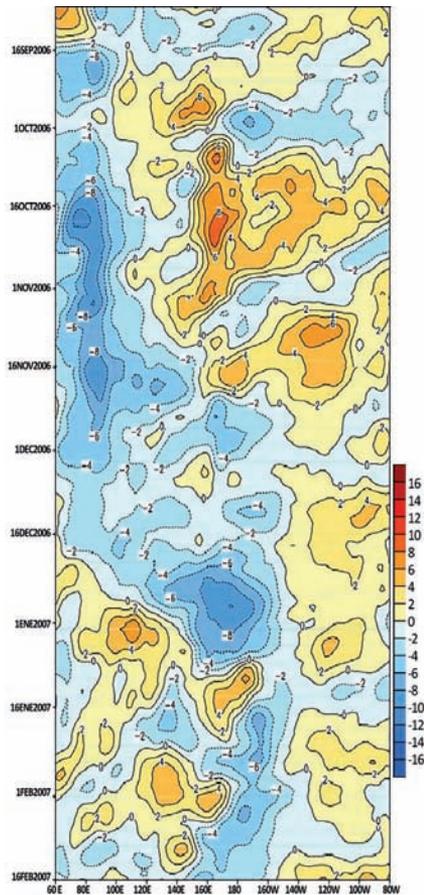
Estas ondas son primordialmente fluctuaciones en el campo de la presión atmosférica y en el viento de la atmósfera tropical, que son más notorias en la troposfera sobre el Océano Indico y el Pacífico occidental con un período de 30-60 días, se desplazan de

occidente a oriente y generan fluctuaciones en las variables climatológicas como la nubosidad (principalmente la de tipo convectivo), la radiación de onda larga saliente (ésta es modulada por la nubosidad) y la precipitación de las regiones sobre las cuales se desplazan. Algunos consideran las OMJ como las fluctuaciones intraestacionales de la precipitación. Es necesario hacer claridad que las OMJ son esencialmente variaciones en la presión atmosférica y en el viento (Figura 5.1) que generan fluctuaciones en las variables climatológicas (especialmente la nubosidad convectiva y la precipitación) en esa misma escala temporal; por ello se perciben como fases de reactivación y de desactivación de las lluvias, cuyas fases máximas tienen duración de un par de semanas. Al ser más evidentes en la nubosidad convectiva, el seguimiento de las OMJ se hace comúnmente a través de la observación de la radiación de onda larga saliente.

Las OMJ generan debilitamientos o intensificaciones de los vientos alisios (ver Figuras 5.1 y 5.2), fases que esporádicamente pueden tener intensidad considerable y, en ocasiones, tomar la dirección contraria (vientos del Oeste). El inicio de los fenómenos El Niño (desplazamiento de la onda Kelvin ecuatorial) generalmente está asociado a la fase de debilitamiento de los alisios o a la inversión, es decir vientos del Oeste; las intensificaciones de los alisios en el sector oriental impulsan el inicio de los fenómenos La Niña.

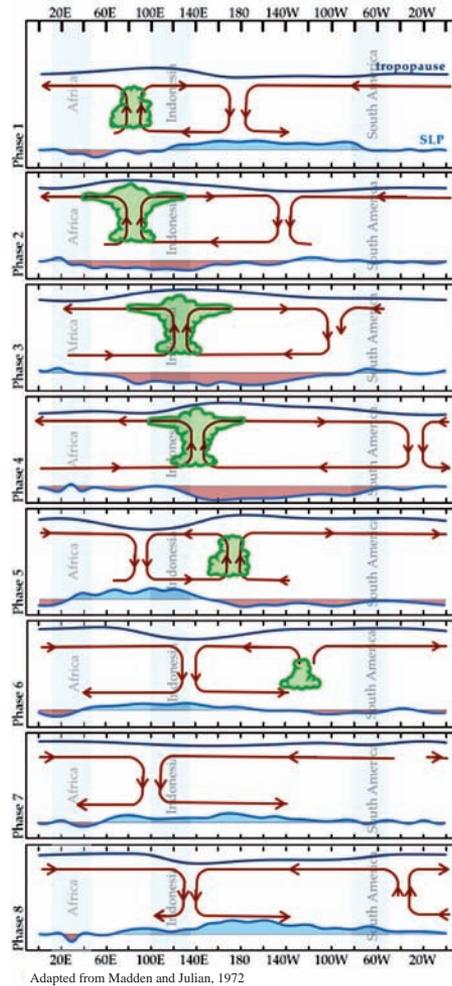
Pero, ¿qué es lo que genera estas fluctuaciones? Los investigadores del tema han propuesto diferentes marcos teóricos para explicar su desarrollo y propagación, sin embargo, todos coinciden en que el origen de estas oscilaciones se registra en el “sector cálido” (comúnmente denominado “warm pool”) del occidente del Pacífico tropical e Índico. Algunos autores señalan que el origen está en una distribución particular del calor latente liberado durante la convección dentro de un proceso denominado CISK (Lau and Peng, 1987), otros mencionan que es un mecanismo de retroalimentación entre la evaporación y el viento (Emmanuel, 1987; Neelin et al 1987) o buscan unir estos dos esquemas (Kirtman y Vernekar, 1993); ambos modelos teóricos tienen dificultades para explicar la propagación de las ondas hacia el Este. Al día de hoy se dispone de grandes avances en la comprensión de la variabilidad intraestacional en el sistema océano-atmósfera (ver Lau y Waliser, 2012), sobre la dinámica de las OMJ (Wang, 2012) y acerca de la relación de estas con los fenómenos El Niño y La Niña (Hendon et al., 2007; Lau, 2012).

Un modelo sencillo que explica la generación de las OMJ es el siguiente: En el sector cálido del Pacífico tropical occidental la presión es baja y se desarrolla convección, el calor latente liberado tiende a acumularse en el sector oriental de la baja presión; el centro de esta última se desplaza a donde está el acumulamiento del calor, proceso que ocurre sucesivamente con avance hasta por menos hasta el Pacífico central o hasta donde la superficie del océano es suficientemente cálida para garantizar un



**Figura 5.2.** Diagrama Hovmöller (longitud-tiempo) de las anomalías del viento zonal (en m/s) en el período septiembre de 2006 – febrero 2007. (El color anaranjado y rojo indican debilitamiento de los alisios o inversiones de estos, es decir, vientos del Oeste; el color azul muestra el fortalecimiento de los alisios). Es notoria la aparición de vientos del Oeste cerca de la línea de cambio de fecha (180° de longitud) en octubre, después de un debilitamiento de los alisios iniciado en septiembre. Esta anomalía que se propagó por el Pacífico hacia el Este, fue uno de los factores que dio inicio (desplazamiento de la onda Kelvin ecuatorial) al evento cálido de 2006-2007. (Composición elaborada a partir de los datos publicados en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO>).

flujo de vapor y de calor latente. Este desplazamiento genera las ondas en la presión, en los vientos, en la nubosidad convectiva y, consecuentemente, en la precipitación. Una fase de esa onda, la convectiva, estimula los procesos generadores de lluvias; la fase opuesta, los debilita. Estas fases se desplazan alrededor del planeta por la zona tropical como se presenta en la Figura 5.3. Se ha establecido (Hendon et al, 2007) que la presencia de una intensa fase convectiva de la MJO en el Pacífico occidental

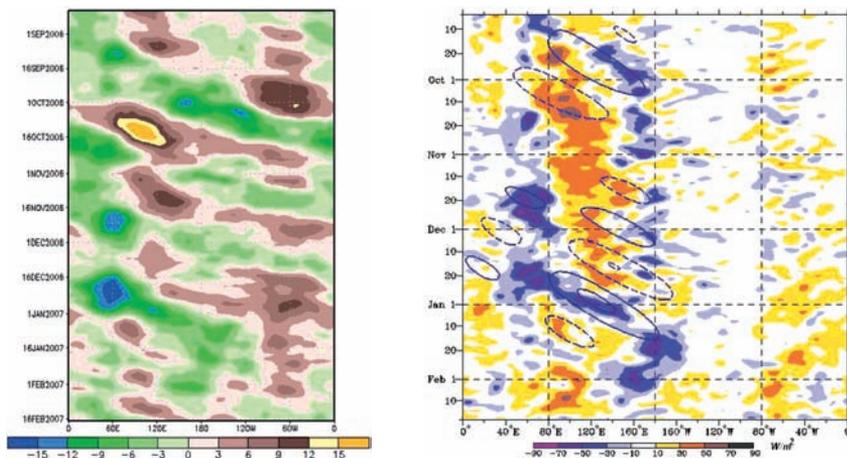


**Figura 5.3.** Representación esquemática del desplazamiento zonal de las fases de las ondas Madden-Julian en la franja tropical. SLP- presión atmosférica a nivel del mar. (Tomado de [http://rsmas.miami.edu/personal/asavarin/research\\_whatismjo.html](http://rsmas.miami.edu/personal/asavarin/research_whatismjo.html))

durante el final de la primavera puede generar el impulso a una onda Kelvin ecuatorial que se desarrolle en un evento El Niño que tenga su máxima expresión en el otoño-invierno subsiguiente.

Independientemente de la explicación del fenómeno, desde el Océano Indico y el sector occidental del Pacífico tropical, las OMJ se desplazan hacia el Este asociadas con anomalías de precipitación, generando pulsaciones en la presión y el viento, así

como en otras variables climatológicas. Resulta fácil corroborar la existencia de las OMJ través del seguimiento de la velocidad potencial del viento y de la radiación de onda larga saliente (ROLS) que es un indicador de la convección. En el sector derecho de la Figura 5.4 se presenta la ROLS en un diagrama de Hovmöller; la fase convectiva (la que apoya el desarrollo de fuertes precipitaciones) se visualiza con los valores más bajos de ROLS. Las OMJ también se pueden observar a través de la velocidad potencial del viento en 200 hPa (cerca de 14 kilómetros de altura), sector izquierdo de la misma figura.



**Figura 5.4.** Diagramas Hovmöller (longitud-tiempo) de las anomalías de velocidad potencial del viento (en unidades de  $m^2/s$ ) en 200 hPa para la franja de 5°S-5°N con media móvil de cinco días (izquierda) y de radiación de onda larga saliente (en unidades de  $W/m^2$ ) promediadas para la franja 7.5°S - 7.5°N (derecha) para el período de septiembre de 2006 a febrero de 2007 (Tomado de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO>).

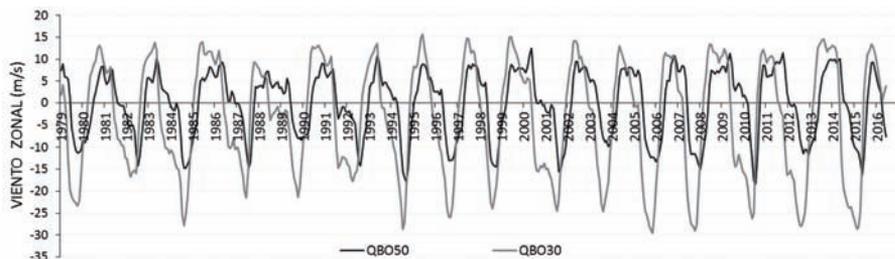
El papel de las OMJ en las fluctuaciones del viento y en la génesis de las fases extremas de ENOS, particularmente en el inicio de los fenómenos El Niño, ha sido estudiado y descrito por diversos autores (ver, por ejemplo, *Weickmann 1991; Kessler et al. 1995; McPhaden 1999; Zhang y Gottschalck 2002; Lau, 2005; Saith y Slingo, 2006; Hendon y Wheeler, 2007*). Recientemente se ha establecido que el momento del año, es decir en el ciclo anual, en el que ocurre el relajamiento de los alisios debido a las oscilaciones intraestacionales, es crucial para que ocurra un fenómeno de El Niño. En este sentido varios autores (*Li y Philander, 1996*) han señalado un papel especial al amplio ciclo anual de la temperatura del mar en el Pacífico oriental; otros (*Takahashi y Dewitte, 2016*) han establecido que si el relajamiento ocurre al final de la primavera boreal, es altamente probable que en el invierno del mismo año ocurra un evento de El Niño; adicionalmente, *Stuecker et al., (2013)* han dado un papel al ciclo anual de

los vientos y la precipitación del Pacífico occidental sugiriendo que el desplazamiento estacional hacia el sur de las anomalías de los Oestes (o debilitamiento de los vientos del Este) ocurrido en el invierno/primavera boreal inducen la terminación de un evento de El Niño.

## 5.2. La Oscilación Cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior (QBO), la Oscilación Cuasibienal de la troposfera (TBO) y los fenómenos El Niño y La Niña

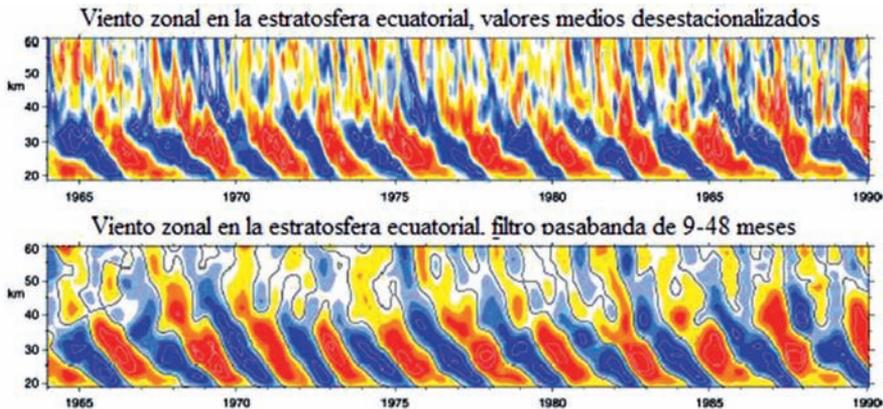
Otro proceso ondulatorio de la atmósfera es la Oscilación Cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior conocido ampliamente como QBO (por las siglas de Quasibiennial Oscillation). Análisis de los vientos de la estratosfera realizados en los años 50s permitieron identificar el fenómeno de cambio de dirección del componente zonal en la atmósfera (estratosfera) ecuatorial. Por primera vez en la literatura especializada la QBO fue reportada por *Reed (1961)* y *Veryard y Edbon (1961)*. Posteriormente se desarrollaron investigaciones que permitieron corroborar la existencia de ese ciclo en el viento de la estratosfera (ver revisión completa en *Baldwin et al., 2001*).

Resumidamente, la QBO es la alternancia que ocurre de un año a otro entre vientos del Oeste y del Este en la estratosfera inferior. En la Figura 5.5 se muestra claramente esta secuencia casi periódica de fases opuestas en el viento zonal. El período promedio de tal fluctuación es de cerca de 28 meses, pero está entre 22 y 32 meses. Este fenómeno se propaga de arriba abajo (ver Figura 5.6) iniciando desde los 40 kilómetros de altura; desde los 30 hPa (kms) hasta los 50 hPa (kms) demora entre dos o tres meses. En términos generales, la fase Oeste dura menos y es menos intensa que la fase Este (esto también se puede confirmar con la Figura 5.5).



**Figura 5.5.** Secuencia de los valores mensuales del viento zonal en los niveles 50 y 30 hPa (estratosfera inferior entre los 20 y 40 kilómetros) en el período 1979-2016 según los datos del Climate Data Assimilation System (CDAS) del National Center for Environmental Prediction (NCEP) de la National Ocean and Atmosphere Administration (NOAA). Los valores positivos corresponden a viento del Oeste, los negativos – del Este.

¿Qué procesos generan la QBO? Según los estudios realizados desde el descubrimiento de la QBO, particularmente en los últimos 40 años, este fenómeno es el producto de procesos que ocurren en la troposfera tales como la convección intensa en los sistemas de escala sinóptica y sistemas convectivos de mesoescala. Los intensos movimientos verticales ascendentes (conocidos como convección) asociados a estos sistemas, generan ondas gravitacionales de diversa escala que se propagan verticalmente y al llegar a un nivel en la estratosfera (nivel crítico<sup>7</sup>) se refractan en el flujo de ese nivel y transfieren momento zonal (Este u Oeste). Según Lindzen y Holton, 1968 y Holton y Lindzen, 1972, así como las demostraciones experimentales de Plumb y McEwan, 1978, la QBO es el resultado de la refracción y transmisión de momento zonal al flujo básico de la estratosfera por las ondas Rossby-gravitacionales<sup>8</sup> y ondas Kelvin<sup>9</sup>; las ondas Kelvin generan la fase Este y las Rossby-gravitacionales –la Oeste.



**Figura 5.6.** Perfil vertical-tiempo (años) del viento zonal de la estratosfera sobre la franja ecuatorial. (Tomado de Baldwin et al., 2001). El color rojo representa a los Oestes; el azul, los Estes.

La QBO podría generar fluctuaciones de esta misma escala en la troposfera inferior. No obstante, la propagación de la QBO desde la estratosfera hasta la troposfera es motivo de discusión debido a que no se ha encontrado una correlación clara y significativa

<sup>7</sup> Nivel en el que la velocidad de las ondas que se propagan en el flujo es igual a la velocidad del flujo; las ondas tienden a disiparse o romperse en este nivel.

<sup>8</sup> Ondas Rossby-gravitacionales son ondas que se pueden observar en el viento meridional las cuales se desplazan de Este a Oeste.

<sup>9</sup> Ondas Kelvin son ondas en la atmósfera o en el océano ecuatorial que se desplazan de Oeste al Este (la propagación sur-norte o norte-sur es insignificante). En la atmósfera se pueden percibir en el viento zonal, el geopotencial y la temperatura del aire con una estructura simétrica en relación con el Ecuador.

entre la QBO y una señal similar en la troposfera inferior, particularmente con los alisios. No obstante, hay evidencias de una relación entre QBO y la frecuencia o intensidad de fenómenos de la troposfera como los ciclones tropicales (*Gray, 1984; Landsea et al., 1998*); los huracanes del Atlántico tropical y Caribe tienden a ser más frecuentes en la fase Este de la QBO. Igualmente, *Collimore et al., 2003* encontraron que la QBO a través de su influencia en la altura de la tropopausa genera una señal cuasibienal en la convección tropical; es decir, según estos autores la QBO controla los procesos de la troposfera (no obstante, no mencionan el esquema teórico propuesto por *Lindzen y Holton, 1968* en el que los procesos de la troposfera generan la QBO).

¿Pero, podría la QBO generar una señal de la misma escala en los vientos de la troposfera inferior? Trabajos realizados por *Huesmann y Hitchman, 2001* demuestran que la QBO modula los vientos en la troposfera superior del trópico. De igual manera, *Kwan y Samah, 2003* sugieren una relación entre la QBO y una oscilación en la troposfera, llamada TBO.

La TBO ha sido documentada por diferentes autores a través de la identificación de la señal en los vientos y en la temperatura de la superficie del mar (*Meehl, 1997*) y de la precipitación en diferentes partes del mundo, especialmente para la región Asia-Australia (ver resumen en la introducción de *Li et al., 2001*); *Ropelewski et al., 1992* también mencionan la señal cuasibienal en diferentes variables de la zona tropical. Se han propuesto esquemas teóricos para explicar la existencia de la TBO (*Chang y Li, 2000; Li et al., 2001; Meehl et al., 2003*) en los que la interacción océano-atmósfera y la retroalimentación viento- evaporación juegan un papel importante. Es necesario mencionar que estas bases teóricas tratan la TBO como proceso diferente a la QBO.

Independientemente de la relación QBO y la TBO, hay evidencias de una señal cuasibienal en la troposfera que afecta diferentes variables meteorológicas, entre ellas el viento; esta señal genera fortalecimientos y debilitamientos de los alisios que inciden en diverso grado en el inicio de los fenómenos El Niño y La Niña.

Aún sin tener clara la relación QBO y TBO, se ha identificado una coincidencia entre el inicio de los fenómenos El Niño y la fase Oeste de la QBO y en la actualidad esta relación es utilizada en la práctica como uno de los elementos para la predicción de las fases extremas del ciclo ENOS.

### **5.3 La actividad volcánica y la sismicidad y su relación con El Niño y La Niña**

Las erupciones volcánicas, al inyectar polvo y cenizas en la atmósfera, afectan el balance de radiación que mantiene el clima de La Tierra. El material inyectado a la atmósfera refleja o absorbe parte de la energía que va hacia la superficie terrestre. Por

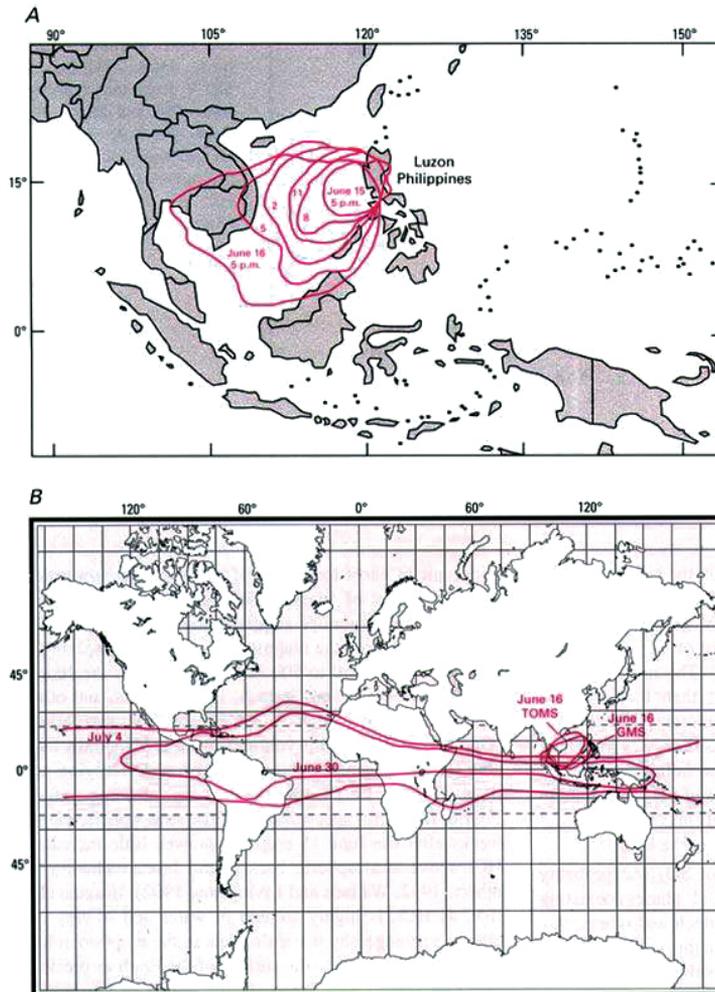
ello después de una erupción volcánica ocurre un aumento de la temperatura en las capas en donde se distribuyen los aerosoles (usualmente en la troposfera superior y la estratosfera inferior) y un enfriamiento en la troposfera inferior. Este cambio del campo térmico en la superficie conlleva a cambios en la distribución de la presión atmosférica y a alteraciones de la circulación, con lo que se generan fluctuaciones del viento en diferentes regiones del planeta. Este efecto de las erupciones volcánicas en el clima ha sido demostrado en trabajos de diversos autores (ver, por ejemplo, *Handler, 1989; Andsager, 1992; Eslava, 1994; Robock, 2000; de Silva, 2003*; entre otros).

En cuanto a ENOS y su relación con las erupciones volcánicas, diversos autores (*Handler y Andsager, 1990; Molión, 2003; Adams et al., 2003; de Silva, 2003*) señalan que después de erupciones volcánicas en la zona tropical pueden ocurrir eventos El Niño. No obstante, *Robock, 2000* es cauteloso al respecto, anotando que en el caso de El Niño 1982-83, el inicio de dicho evento se hizo semanas antes de la erupción de El Chichón.

El mecanismo mediante el cual una erupción en la zona tropical podría disminuir la intensidad de los alisios y generar así un evento El Niño es el siguiente: los aerosoles se localizan en la troposfera superior y la estratosfera inferior y son distribuidos por los vientos sobre una extensa zona que puede cubrir toda la zona tropical alrededor del planeta formando una película que absorbe una parte de la radiación solar; los aerosoles también reflejan una parte de los rayos solares; esto consecuentemente reduce la cantidad de energía que llega a la superficie (del océano o del continente). Como efecto inmediato ocurre una disminución de la temperatura del aire y un relativo aumento de la presión atmosférica cerca de la superficie en la región sobre la cual están distribuidos los aerosoles de origen volcánico.

Cuando ocurren erupciones volcánicas en la zona tropical cerca del Ecuador (como por ejemplo el Pinatubo en 1991, ver Figura 5.7), el material se distribuye sobre la zona ecuatorial. El aumento de la presión atmosférica en esta franja hace que disminuya el gradiente horizontal de presión que existe entre la baja Ecuatorial y las altas subtropicales; esto conduce a un debilitamiento de los alisios. Para el caso de la erupción del Pinatubo, *Self et al., 1996* describieron los cambios en la temperatura del aire en superficie.

Finalmente, es conveniente mencionar que algunos autores han planteado una relación entre la actividad sísmica y la ocurrencia de fenómenos El Niño. Como ya se mencionó en el Capítulo 2, *Walker, 1988; Walker, 1995* señala una relación entre la actividad sísmica en esta región y las variaciones de la Oscilación del Sur. Aunque podría haber una relación asociada al suministro de calor, lo que de alguna manera controlaría la intensidad de los fenómenos (*Mesa, 2002* hizo un completo análisis de la debilidad de este planteamiento).



**Figura 5.7.** *Dispersión de la nube de material de la erupción del volcán Pinatubo ocurrida el 16 de junio de 1991. A) Los dos primeros días (se señala el tiempo local de Filipinas), según el sensor satelital japonés GMS; B) La distribución de la nube de SO<sub>2</sub> que ocurrió en la estratosfera inferior, según las mediciones de sensor satelital TOMS. (Tomado de Self et al., 1996).*

#### 5.4. El modelamiento del inicio y desarrollo de los fenómenos de El Niño y de La Niña con fines de predicción

Dada la magnitud de los impactos socioeconómicos que los fenómenos de El Niño y de La Niña causan en diferentes regiones del planeta, desde los años 70s del siglo XX se hizo evidente la necesidad de contar con predicción de estos fenómenos. A pesar de la complejidad del problema debido a la no-linealidad y el grado de aleatoriedad de

los procesos involucrados, ha habido notables avances en la construcción de modelos dinámicos y estadísticos. *Barnston et al., (1999); Barnston et al. (2012)* efectuaron un análisis del progreso de la predicción y señalaron que los modelos estadísticos y dinámicos han mejorado en cuanto a habilidad para pronosticar los eventos, aunque los primeros están aún un poco por debajo de los segundos en cuanto al grado de aciertos en el pronóstico.

Los modelos dinámicos usados para la predicción de El Niño o de La Niña, integran la mayor parte de los procesos del océano y de la atmósfera ya sea en versiones de modelos acoplados o semiacoplados. Los modelos estadísticos buscan representar el comportamiento de la temperatura de la superficie del mar con la ayuda de diversas técnicas como la regresión múltiple, componentes principales, correlación canónica, cadenas de Markov y otros métodos estocásticos, redes neuronales. En ambos tipos de modelos un asunto crítico es representar las pulsaciones intraestacionales que generan vientos fuertes del Oeste (o Westerly Wind Bursts –WWB) que dan inicio al desplazamiento de la onda Kelvin ecuatorial (*Gebbie y Tziperman, 2008; Zabala-Garay et al., 2004*). En la tarea de modelar ENSO se han desarrollado modelos híbridos (por ejemplo, un modelo dinámico simple determinístico y lineal es forzado por una parametrización estocástica del viento), con los que se ha avanzado y obtenido buenos resultados (*Chen y Majda, 2017*).

Desde el año 2000 se viene usando mes a mes en el International Research Institute for Climate and Society (IRI) el ensamble de modelos (por aparte los dinámicos y los estadísticos) para la predicción operativa de la temperatura superficial del mar del Pacífico central, con los que se identifica el advenimiento de los eventos de El Niño o de La Niña. Sin embargo aún quedan varios temas por resolver como por ejemplo la dificultad para anticipar los eventos cálidos del sector adyacente a la costa suramericana (*Pabón y Martínez, 2016*), falla que es atribuible a la escasa red de mediciones en la región, la baja representación de los procesos de menor escala regionales en los modelos globales y al aún limitado conocimiento de estos procesos

## Referencias Bibliográficas

- Adams, J.B., Mann, M.E. and Caspar, M.A., 2003. Proxy evidence for an El Niño-like response to volcanic forcing. *Nature*, 426, pp. 274 – 278.
- Andsager K.M., 1992: The Influence of Volcanic Stratospheric Aerosols on Interannual Global Climate Variations. Thesis (PH.D.)—University of Illinois at Urbana-Champaign. Source: Dissertation Abstracts International, Volume: 54-11, Section: B, page: 5711.
- Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T. J., Hamilton K., Haynes P. H., Randel W. J., Holton J. R., Alexander M. J., Hirota I., T. Horinouchi T., Jones D. B. A., Kinnersley J. S., Marquardt

- C., Sato K., Takahashi M., 2001: The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 39, 2, pp. 179-229.
- Barnston A.G., Glantz M.H., He Y., 1999: Predictive Skill of Statistical and Dynamical Climate Models in SST Forecasts during the 1997–98 El Niño Episode and the 1998 La Niña Onset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **80** (2), pp. 217-243
- Barnston A.G., Tippet M.K., L'Heureux M.L., Li S., DeWitt D.G., 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model predictions during 2002-11. Is our Capability Increasing? *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93** (5), pp. 631-651
- Collimore C.C., Martin D.W., Hitchman M.H., Huesmann A., Waliser D., 2003: On the Relationship Between the QBO and Deep Tropical Convection. *J. of Climate*, **16** (15), p2552-2568
- Collimore C.C., Hitchman M.H., Martín D.W., 1998: Is there a quasi-biennial oscillation in tropical convection? *Geph. Res. Letter*, v. 25, No. 3, pp. 333-336.
- Chang C.-P., Li T., 2000: A Theory for the Tropical Tropospheric Biennial Oscillation. *J. Atmos. Sci*, 57, pp. 2209-2224.
- Chen N., Majda A.J., 2017: Simple stochastic dynamical models capturing the statistical diversity of El Niño Southern Oscillation. *Proc. Natl. Acad. Sciences USA*, 114 (7), pp. 1468-1473
- Daron J.D., Stainforth D.A., 2013: On predicting climate under climate change. *Environmental Research Letters*, **8**, 8 p. doi:10.1088/1748-9326/8/3/034021
- De Silva S., 2003: Global change: Eruptions linked to El Niño. *Nature*, v. 426, No.6964, pp. 239-241.
- Emmanuel, K. A., 1987: An air-sea interaction model of intraseasonal oscillations in the Tropics. *J. Atmos. Sci.*, 44, 2324-2340.
- Eslava J.A., 1994: Cambios atmosféricos asociados a la erupción del Nevado del Ruíz. Colección Jorge Alvarez Lleras, v. 4. Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Bogotá. 173 p.
- Gebbie G., Tziperman E., 2008: Incorporating a semi-stochastic model of ocean-modulated westerly wind bursts into an ENSO prediction model. *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-008-0069-6
- Gray, W. M., 1984: Atlantic seasonal hurricane frequency, part I, El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences, *Mon. Weather Rev.*, 112, 1649–1668.
- Handler P., 1989: The effect of volcanic aerosols on global climate, *Int. Volcanol. Geotherm. Res.*, 57:233-249.
- Handler, P. Andsager, K. (1990). Volcanic aerosols, El Niño and the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 10: 413–424.
- Hendon H.H., Wheeler M.C., Zhang C., 2007: Seasonal dependence of the MJO-ENSO relationship. *J. of Climate*, v., 20, pp.531-543.

- Holton J.R., Lindzen R.S., 1972: An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, 29, p. 1076–1080
- Huesmann, A. S., and M. H. Hitchman, 2001: The stratospheric quasibiennial oscillation in the NCEP reanalyses: Climatological structures. *J. Geophys. Res.*, 106, pp.11 859–11 874.
- Jin F-F, Neelin J.D., Ghil M., 1994: El Niño on the Devil's Staircase: annual subharmonic steps to chaos. *Science*, 264, pp.70–72
- Kessler W.S., M. J. McPhaden, and K. M. Weickmann, 1995: Forcing of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.* 100, pp. 10 613–10 631.
- Kirtman, B.; Vernekar, A., 1993: On Wave-CISK and the Evaporation-Wind Feedback for the Madden-Julian Oscillation. *J. Atmos. Sci.*, vol. 50, pp. 2811-2816.
- Kwan K.F., Samah A.A., 2003: A conceptual model relating the quasi-biennial oscillation and the tropospheric biennial oscillation. *Int. J. Climatol.* vol. 23, No.3, pp. 347-362.
- Landsea C. W., Bell G. D, Gray W.M., Goldenberg S. B., 1998: The extremely active 1995 Atlantic hurricane season: Environmental conditions and verification of seasonal forecasts, *Mon. Weather Rev.*, 126, 1174–1193.
- Lau K.-M., and L. Peng, 1987: Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere. Part I: Basic theory. *J. Atmos. Sci.*, 44, 950-972.
- Lau W. K. M., 2005: El Niño Southern Oscillation connection. Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System (W. K. M. Lau and D. E. Waliser, Eds.), Praxis Publishing, 271–300.
- Lau W.K.M., 2012: El Niño Southern Oscillation connection. Chapter 9 in the book Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System. Second Edition. (Lau y Waliser (Eds), 2012), pp.297-334.
- Lau W.K.M, Waliser D.E. (Eds), 2012: Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System. Second Edition. Springer-Praxis Books in Environmental Sciences. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. 613 p.
- Li, T. and S. G. H. Philander, 1996: On the annual cycle of the eastern equatorial Pacific. *J. Climate*, 9, pp. 1986-1998.
- Li T., Tham C.-W., Chang C.-P., 2001: A Coupled Air–Sea–Monsoon Oscillator for the Tropospheric Biennial Oscillation. *J. Climate*, 14, pp. 752-764.
- Lindzen R.S., Holton J.R., 1968: A theory of the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 25, pp. 1095–1107.
- McPhaden, M. J., 1999: Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño. *Science*, 283, pp. 950–954.
- Madden R. and P. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 28, pp. 702-708.

- Madden R. and P. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, **29**, pp. 1109-1123.
- Madden R. and P. Julian, 1994: Observations of the 40-50 day tropical oscillation: A review. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, pp. 814-837.
- Meehl G.A., 1997: The South Asian monsoon and the tropospheric biennial oscillation (TBO). *J. Climate*, **10**, pp. 1921–1943.
- Meehl G.A., Arblaster J.M., Loschnigg J., 2003: Coupled Ocean–Atmosphere Dynamical Processes in the Tropical Indian and Pacific Oceans and the TBO. *Journal of Climate*: Vol. 16, No. **13** pp. 2138–2158
- Mesa O., 2000: ENSO, Rotación Terrestre, Volcanismo y Sismicidad . *Dyna*, No. **136**. pp. 41-61.
- Molion L.B., 2003: Volcanoes affect the planet’s climate. En Bulletin of World Meteorological Organization Regional Office for Americas, No. 30-31, pp.18-22.
- Neelin, J. D., I. M. Held, and K. H. Cook, 1987: Evaporation-wind feedback and low-frequency variability in the tropical atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2341-2348.
- Pabón J.D., Martínez R., 2016: Third ENSO Conference: findings and key messages. *Advances in Geosciences*, **42**, pp. 91-93. doi:10.5194/adgeo-42-91-2016.
- Plumb, R. A., McEwan A. D., 1978: The instability of a forced standing wave in a viscous stratified fluid: A laboratory analogue of the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **35**, pp. 1827–1839.
- Poveda G., Álvarez D.M., 2012: El colapso de la hipótesis de estacionariedad por cambio y variabilidad climática: implicaciones para el diseño hidrológico en ingeniería. *Revista de ingeniería*, **36**. Pp. 65-76
- Reed, R.G., Campbell W.J., Rasmussen L.A., Rogers D.G., 1961: Evidence of downward-propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere. *J. of Geophysical Research*, Vol. **66**, pp. 813-818.
- Robock, A., 2000: Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics*. **38**, pp. 191-219.
- Ropelewski, C. F., M. S. Halpert, and X. Wang, 1992: Observed tropospheric biennial variability and its relationship to the Southern Oscillation. *J. Climate*, **5**, pp. 594–614.
- Saith N., Slingo J., 2006: The role of the Madden-Julian Oscillation in the El Niño and Indian drought of 2002. *International Journal of Climatology*. Volume **26**, Issue 10 , pp. 1361–1378.
- Self S., Zhao J.X., Holasek R.E., Torres R.C., King A.J., 1996: The Atmospheric Impact of the 1991 Mount Pinatubo Eruption. In: FIRE and MUD: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines (Newhall C.G. y Punongbayan R.S., (Eds), 1996: FIRE and MUD: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines, Philippine Institute of Volcanology and Seismology (Quezon City). University of Washington Press. Seattle and London. (Tomado de: <http://pubs.usgs.gov/pinatubo/prelim.html>).

- Stuecker M.F., Timmermann A., Jin F.-F., McGregor S., Ren H.-L., 2013: A combination mode of the annual cycle and the El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, **6**, pp. 540–544 doi:10.1038/ngeo1826
- Takahashi K., Dewitte B., 2016: Strong and moderates nonlinear El Niño regimes. *Clim. Dynamics*, **46**, pp. 1627-1645.
- Veryard, R.G. and R.A.Ebdon, 1961: Fluctuations in tropical stratospheric winds. *The Meteorological Magazine* Vol. 90, pp. 125-143
- Walker D.A., 1988: Seismicity of the East Pacific Rise: Correlations with the Southern Oscillation Index? *EOS*, vol. 69, No. 857.
- Walker D. A., 1995: More Evidences Indicates Link Between El Niño and Seismicity. *EOS*, vol. 76, No. 4, pp. 1, 34 and 36.
- Wang B., 2012: Theories. Chapter 10 in the book *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*. Second Edition. (Lau y Waliser (Eds), 2012), pp.335-398.
- Weickmann, K. M., 1991: El Niño Southern Oscillation and the Madden-Julian (30–60 day) oscillation during 1981–82. *J.Geophys. Res.*, 96, 3187–3196.
- Zabala-Garay J., Moore A.M., Kleeman R., 2004. Influence of stochastic forcing on ENSO prediction. *Journal of Geophysical Research*, **109**, C11007, doi:10.1029/2004JC002406
- Zhang, C., and J. Gottschalck, 2002: SST Anomalies of ENSO and the Madden–Julian oscillation in the equatorial Pacific. *J. of Climate*, 15, 2429–2445.

Los fenómenos de El Niño y de La Niña traen asociados efectos en el ambiente marino del océano Pacífico y en la zona costera de los continentes e islas que son bañados por éste; las alteraciones de temperatura y salinidad de las aguas marinas, así como las variaciones del nivel del mar son las consecuencias más notables en esta región. Sin embargo, estos fenómenos trascienden más allá de la cuenca del Pacífico y generan un efecto marcado en el clima de diferentes regiones del planeta, el cual se destaca dentro de la variabilidad climática interanual; las fases extremas de la variabilidad generada por estos fenómenos impactan sensiblemente los sistemas socioeconómicos de diversos países del mundo.

El efecto en el ambiente marino y costero en la región en donde se desarrollan los fenómenos es tal vez fácil de comprender si se considera la exposición directa de este medio regional a los cambios térmicos generados por El Niño y La Niña. No ocurre lo mismo con los efectos climáticos que se observan en lugares distantes del escenario de su desarrollo, ya que la cadena causa - efecto no es tan obvia para el simple observador.

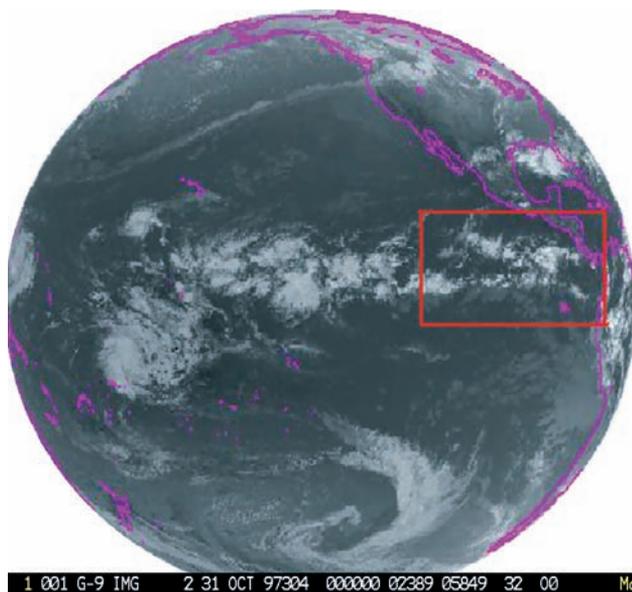
Por lo anterior, antes de describir los principales efectos es conveniente ilustrar al lector acerca de ¿por qué las anomalías registradas en un componente del sistema (el océano en este caso) en una región del planeta, tienen una respuesta en lugares distantes de otro componente (la atmósfera)?; a esta relación remota entre procesos, conocida como teleconexión, se dedica la primera parte de este capítulo; se presentan también en esta primera parte algunos aspectos básicos sobre el clima y la variabilidad climática en un intento por explicar cómo los fenómenos de El Niño y de La Niña inducen una señal importante en la variabilidad climática interanual. Posteriormente, se muestran los efectos que algunos eventos han generado en el ambiente marino y costero en la cuenca del Pacífico dentro y fuera de la zona tropical. Finalmente, se mencionan los efectos climáticos de estos fenómenos a través de las anomalías que produjeron eventos pasados en la temperatura del aire y en la precipitación en diferentes regiones del planeta.

### **6.1. Las teleconexiones asociadas a los fenómenos de El Niño y de La Niña**

Como se anotó en capítulos anteriores (2, 3 y 4), los fenómenos El Niño y La Niña producen cambios de gran escala en el campo de la temperatura superficial del mar

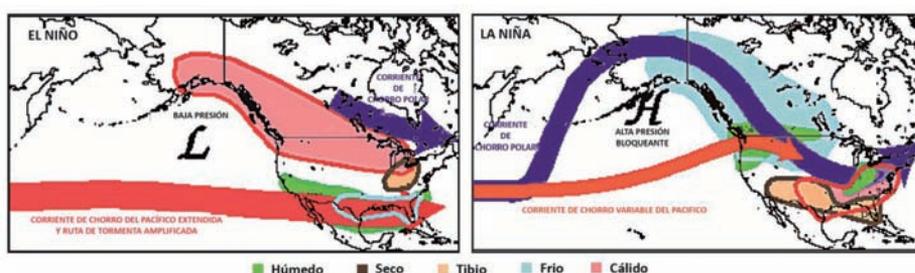
y la presión atmosférica (Oscilación del Sur) en el Pacífico tropical, lo cual altera los patrones de circulación general de la atmósfera. En efecto, la perturbación que estos fenómenos inducen al campo térmico de la superficie del mar afecta la circulación de Walker, la circulación de Hadley y la posición de las corrientes chorro, así como la amplitud y orientación de las ondas Rossby. Con las dos primeras, El Niño y La Niña generan alteraciones climáticas en regiones tropicales alejadas del Pacífico; con los cambios en los parámetros de las ondas Rossby (particularmente la amplitud), dichos fenómenos generan anomalías climáticas en latitudes medias y aún en las polares.

Los efectos en la circulación Walker ya fueron descritos en capítulos anteriores. Los efectos en la posición de la ZCIT (y, a través de ello, en las celdas de circulación de Hadley) se aprecian en la figura 6.1, que presenta una imagen de satélite de octubre de 1997 donde se destacan dos franjas nubosas como si se presentaran dos ZCIT, en el Pacífico oriental. Aquí la ZCIT es la franja que se encuentra al norte, donde debería estar por esta época del año; la que está al sur corresponde a la convección generada en la zona de anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el evento El Niño 1997-98, la cual se distribuyó zonalmente de Este a Oeste desde las costas del norte del Perú y de Ecuador. En períodos en que las anomalías de TSM son más intensas, la convección se concentra únicamente en esa región generando la impresión de que la ZCIT se ha estacionado allí.



**Figura 6.1.** Imagen ilustrativa de los efectos observados en la circulación de Hadley, y posición de la ZCIT (ver recuadro rojo) durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño (imagen tomada de <http://dcdb.ssec.wisc.edu/inventory>).

Los efectos remotos de los fenómenos El Niño y La Niña también se realizan a través de su acción sobre las ondas Rossby. En la figura 6.2, se ilustra la manera como los fenómenos El Niño y La Niña actúan sobre las ondas Rossby, particularmente sobre las ondulaciones de la corriente en chorro localizada sobre Norteamérica. Como se puede apreciar, la corriente en chorro se desplaza al norte de su posición normal durante La Niña y al sur durante El Niño; de igual manera, es posible apreciar que estos dos fenómenos inciden en la amplitud y orientación de las ondulaciones de las ondas Rossby, lo que genera anomalías climáticas en Norteamérica.



**Figura 6.2.** Posición del brazo principal de la Corriente en Chorro Polar (en color violeta) y del Chorro del Pacífico (en rojo) durante el invierno del hemisferio norte, en periodos de ocurrencia de los fenómenos de El Niño y de La Niña. Se presentan las alteraciones climáticas sobre América del Norte así: en rosado están representadas las regiones más cálidas que lo normal; en azul – las más frías que lo normal; en verde – las zonas con lluvias por encima de lo normal; en amarillo – déficit de precipitación. Fuente: NOAA/PMEL/TAO Project, Estados Unidos de América.

Resumidamente, los efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en lugares remotos, se realizan a través de:

- La alteración del patrón de distribución de las diferencias térmicas entre los sectores centro-oriental y occidental de la superficie del mar del Pacífico induce un comportamiento anómalo de la circulación de Walker.
- La organización de las anomalías térmicas como una franja a lo largo del Ecuador en el Pacífico centro-oriental, genera anomalías en la posición de la ZCIT y afecta las celdas de circulación de Hadley.
- Las alteraciones en la presión atmosférica en la escala del Pacífico tropical afecta la amplitud, orientación y posición de diversas fases de las ondas Rossby.

Con la “desconfiguración” de los patrones de circulación descritas (celdas de Hadley, circulación de Walker y posición de las ondas Rossby) se producen anomalías climáticas en diferentes regiones del planeta. Todo lo anterior explica por qué los

fenómenos de El Niño y de La Niña producen anomalías climáticas (particularmente de temperatura del aire y de precipitación) en diversas regiones del mundo alejadas del escenario de su desarrollo. A continuación se exponen los efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en el ambiente marino del Pacífico y su efecto climático en diferentes regiones del planeta.

## **6.2. Efectos en el ambiente marino y costero del Océano Pacífico**

El océano Pacífico, particularmente en la zona tropical, es la región en la que se registran las mayores alteraciones del medio marino con la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Estos fenómenos no solo traen cambios en la temperatura de las aguas marinas y de otras variables físicas (salinidad, densidad, corrientes) sino que también tienen efectos en las variables biológicas (productividad primaria, número de especies en determinada área, etc.) que de diversa manera afectan los ecosistemas marinos y costeros de la región; estos efectos no se limitan a la parte tropical del Pacífico, sino que se extienden a todo el Océano Pacífico.

El Pacífico ecuatorial centro-oriental en condiciones normales presenta una amplia zona de upwelling (afloramiento de aguas profundas) que se extiende zonalmente y se denomina “lengua fría”, la cual origina una intensa actividad primaria. Los fenómenos de El Niño y de La Niña generan cambios en estas condiciones, lo que consecuentemente altera el ambiente para el desarrollo de la vida en esta zona y propicia migración de especies marinas, entre otros procesos.

En términos generales, los efectos más notables que dichos fenómenos generan en la zona pelágica y nerítica son las anomalías de la temperatura (positivas con El Niño y negativas con La Niña) y las variaciones en la profundidad de la termoclina; a estas se asocian las alteraciones de los patrones de salinidad y densidad. También se generan cambios importantes en la configuración regional de la circulación oceánica. En la zona intermareal, además de los efectos anteriores, se presentan cambios en el nivel del mar (que se registran en el resto de la superficie del océano, pero es más notoria e impactante en la costa) y, por el paso de ondas Kelvin costeras, procesos erosivos en el litoral del continente americano. Todos estos efectos físicos traen como resultados alteraciones temporales en la estructura biológica del medio marino del Pacífico tropical y cambios en la geomorfología costera del occidente de Suramérica.

Como se anotó en el Capítulo 2, en el caso del fenómeno de El Niño, las anomalías de temperatura del mar pueden abarcar una amplia franja desde los 10°S hasta los 5°N que va desde la costa suramericana hasta el Pacífico central; en eventos La Niña, la extensión de las anomalías puede ser menor aunque de igual manera cubren una vasta área del Pacífico centro-oriental. No obstante, el campo térmico también se altera de manera considerable en el Pacífico extratropical, lo cual impacta la vida marina en

estas regiones. Los efectos en el medio marino de regiones fuera de la zona tropical se deben principalmente a las alteraciones que se ocasionan en la circulación oceánica, lo cual genera anomalías en la distribución de variables como la temperatura del mar y la salinidad, entre otras; así mismo, la propagación de ondas Kelvin costeras conducen una señal asociada con el fenómeno El Niño a zonas extratropicales del océano Pacífico.

En cuanto a la circulación oceánica las alteraciones han sido descritas en detalle por diferentes autores para las condiciones El Niño (ver, por ejemplo *Lagos, 1984*). En particular se ha identificado que la corriente Ecuatorial del Sur disminuye su velocidad e incluso puede desaparecer como ocurrió en el Pacífico oriental en el evento de 1982-1983. Esto genera cambios en el ambiente de diferentes especies que habitan en el mar de la región. Así, en presencia del fenómeno El Niño, por ejemplo, el sector ecuatorial del Pacífico Sudoriental, experimenta una sensible reducción de la producción primaria ocasionada por el cambio en las características físicas de sus aguas marinas, producto del hundimiento de la termoclina por acción de las ondas Kelvin. En consecuencia, durante El Niño predominan entonces, aguas cálidas y pobres en nutrientes, escaseando entonces, los herbívoros planctónicos y desapareciendo las anchovetas al igual que las aves guaneras que de ellos se alimentan; mueren igualmente pequeños peces, calamares y elementos del zooplancton de aguas frías. Con el fenómeno se eleva la temperatura superficial del mar en esta región en cerca de 7°C. Esto incide en la migración de especies de peces a aguas más frías localizadas en otras latitudes o sectores del océano o a mayores profundidades.

La variabilidad que introducen los fenómenos de El Niño y de La Niña en el medio marino del Pacífico afecta no solo el Pacífico tropical. El paso de ondas Kelvin costeras genera igualmente aumentos del nivel del mar en la costa de Sur, Centro y Norte América. Como ejemplo del efecto de El Niño en regiones extratropicales vale la pena mencionar lo reportado por *Arntz y Fahrbach, 1996* sobre el debilitamiento de la Corriente de California en febrero-marzo de 1983 y el avance de los efectos del evento 1982-83 aún más al norte, hacia las costas de Oregon, Columbia Británica e incluso hasta el Golfo de Alaska donde se midieron anomalías de temperatura de la superficie del mar de hasta 3°C. Los efectos del fenómeno El Niño en el ambiente marino del Pacífico nororiental se pueden deducir en las variaciones de biota marina (biomasa de fitoplancton y poblaciones de diferentes especies de peces y mamíferos) a lo largo de la Península de California (*Gárate-Lizárraga y Siqueiros-Beltrones, 1998*), en el Golfo de California (*González-López, 1994; Mee et al., 1985*) y en el noreste del Pacífico en general (*Smith, 1999*). En el caso de 1997, la presencia de especies de aguas cálidas frente a San Francisco e incluso a las costas del estado de Washington, evidenciaron el avance de aguas cálidas (transportadas por las ondas Kelvin costeras) en esta latitudes. *Melson et al. (1999; 2003)* identificaron que en

eventos El Niño en el Golfo de Alaska se desestabiliza la Corriente de Alaska lo que propicia la presencia de vórtices en la región, mientras que en condiciones La Niña se reduce la formación de vórtices.

Este tipo de variaciones se reportan también hacia el sur. A lo largo de la costa de Suramérica, en condiciones El Niño se reduce la surgencia de aguas frías profundas, proceso esencial en el suministro de nutrientes lo que afecta la cadena trófica en la región (fitoplancton, zooplancton, peces, aves y, finalmente, los humanos y la sociedad). Se presentan alteraciones en la circulación que afectan los índices de upwelling y de turbulencia, importantes para las diferentes fases de desarrollo de la anchoveta y de la sardina en Perú y Chile (*Yañez et al., 2001*). Asociado a las condiciones El Niño o La Niña ocurren migraciones de diferentes especies de peces, entre ellas las mencionadas, lo que genera variaciones importantes en la producción pesquera de Ecuador, Perú y Chile.

Las alteraciones del medio físico y de los ecosistemas traen impactos socioeconómicos de trascendencia regional y global. Así, por ejemplo, se atribuye al evento El Niño de 1972-73 el colapso de la industria peruana de la anchoveta a principios de los 70's. En efecto, según diversos estudios (*Forrester, 1997*), durante la presencia de condiciones cálidas del mencionado episodio, la población de anchoveta se redujo al 10% (se estimó que de 20 millones a 2 millones) aproximadamente; esto produjo igualmente una considerable reducción de la población de aves marinas que se alimentaban de anchoveta, y dio lugar a que las sardinas y macarelas se movieran hacia el área. El Niño de 1982-1983 afectó nuevamente a los principales recursos pelágicos del Perú de tal manera que produjo una considerable baja en las pesquerías. En cuanto al evento de 1997-98, el más fuerte del siglo XX, trajo cambios importantes al medio marino regional con efectos en los ecosistemas de Perú, Ecuador y Colombia, descritos en detalle en la evaluación de los efectos e impactos del evento de 1997-98 publicado en *Corporación Andina de Fomento, 2000b, c y e*.

Se ha afirmado también que debido a El Niño de 1982-83 la macarela migró más al norte de lo usual, depredando a las poblaciones de salmón juvenil frente a las costas de Norteamérica. Se le ha relacionado también a variaciones en los patrones de migración del salmón "sockeye" en la Columbia Británica, lo que resultó en un aumento en la depredación de la especie. En contraste a las bajas capturas de Columbia Británica, los pescadores de salmón en Alaska reportaron abundantes capturas en el Pacífico Norte, mientras que en el Pacífico occidental, elevadas poblaciones de fitoplancton en el Mar Oriental de China desplazaron a los principales bancos pesqueros hacia la costa, incrementando las capturas de sardina 10 veces por sobre el promedio (*Forrester, 1997*).

En los Proceedings de la Conferencia "*Beyond El Niño: climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic*" (*Ward, 2000* o en *McKinnel et al.,*

2001), es posible tener un panorama sobre los efectos biológicos y ecológicos de los fenómenos de El Niño en el Pacífico Norte y Occidental. También hay trabajos de otros autores en los que se destaca de manera particular el efecto de ENOS en los patrones de migración y desarrollo del salmón (*Miller y Fluharty, 1992; Miller, 1996*) en la región de Alaska y del atún (*Lehodey, 2001; Lehodey et al., 1997*) en el Pacífico occidental.

Los cambios en los patrones de distribución de peces tienen efectos no solamente sobre otros peces y aves que se alimentan de estos. Análisis efectuados de las variaciones de la tasa de nacimientos de la foca Weddell en la Antártida han identificado reducciones cada 4-6 años, las que coinciden con eventos El Niño; esta reducción posiblemente está asociada a los cambios en las poblaciones de peces, causadas a su vez por desviaciones en las corrientes marinas (*Forrester, 1997*). Diversos autores atribuyen a El Niño 1982-83 una reducción registrada por esa época en el número de leones marinos de la isla de Santa Catalina (California). También se registra reducción de la población de cetáceos en la costa pacífica Suramericana; en 1982-83 la abundancia en la costa de Perú de ballena azul, ballena de Bryde, ballena de aleta, ballena jorobada y cachalote disminuyó en 65.4 % (*Ramírez, 1989a*); ésta reducción de la población se explica más por emigración en búsqueda de alimento que por muerte (*Ramírez y Urquiza, 1985; Ramírez, 1989b; Ontón et al., 1997; Sánchez y Arias-Schreiber, 1998*). En contraste, en ese mismo evento se registró un aumento en el número de delfines de Risso en la misma región.

*Forrester (1997)* también resume otros efectos de los eventos El Niño en los ecosistemas marinos de la siguiente manera:

“El fenómeno de El Niño de 1982-1983 fue responsable de múltiples efectos ecológicos sobre otros recursos marinos. La región del Pacífico oriental sufrió un masivo blanqueamiento de corales, eventos y mortalidades que tienen trágicos resultados para las comunidades de los arrecifes coralinos. El aumento en la temperatura y los cambios en la salinidad inducidos por las lluvias en el agua marina superficial, son considerados como los causantes de incidentes de muerte de corales en esa región. Por otra parte, la disminución del nivel del mar en el Pacífico occidental fue responsable de la exposición y destrucción de las capas superiores de los arrecifes de coral que rodean muchas islas.

Se estima que alrededor de un 85% de las aves marinas del Perú murieron durante del evento de El Niño de 1982-83. Las causas de la mortalidad son difíciles de determinar debido a que la información disponible es preliminar y limitada. Sin embargo, algunos factores que pudieron haber afectado negativamente a la población son: inundación de sitios de anidamiento, cambios en los patrones de circulación atmosférica, aumento en la temperatura superficial del mar, y migración de los peces, su principal fuente de alimento.

A pesar de la naturaleza destructiva de El Niño, algunas criaturas marinas se benefician de los disturbios provocados por el fenómeno. Como resultado del

evento de 1982-83, los pectinidos aceleraron su crecimiento y alcanzaron grandes densidades. Los caracoles púrpura y los pulpos se volvieron más comunes, y la pesquería de camarón alcanzó su nivel más alto. Esto probablemente podría ser el resultado del aumento de las descargas de los ríos debido al incremento de las lluvias, las cuales suministraron una gran cantidad de nutrientes, aunada a una reducción en la depredación al dispersarse las poblaciones de peces”.

Lerroy, 1997

También se ha encontrado una conexión entre la ocurrencia de eventos El Niño y la proliferación de ciertos tipos de marea roja<sup>10</sup> en sectores de la zona costera de Chile (Rodríguez *et al.*, 1986; Rodríguez, 2004), Perú (Rojas de Mendiola, 1979), Ecuador (Torres-Zambrano, 2000), Centroamérica, México y en el Golfo de California (Cortez-Altamirano y Núñez-Pastén, 1992; Ochoa, 2003; Sierra-Beltrán *et al.*, 2004).

### **6.3. El efecto climático del fenómeno El Niño en diferentes regiones del planeta**

Cuando se trató el tema de las teleconexiones (punto 5.1), se mostró que los fenómenos de El Niño y de La Niña producen cambios de gran escala en el campo de la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica, con lo cual alteran los patrones de circulación general y llevan anomalías climáticas a diferentes partes del mundo. A partir de diversas descripciones (Rassmunson y Carpentier, 1982; Rasmusson y Wallace, 1983; Ropelewsk y Halpert, 1987; Peel *et al.*, 2000; entre otros) de las anomalías climáticas observadas durante la ocurrencia de estos fenómenos en el mundo entero se ha podido elaborar un cuadro de afectación a escala global, cuyas principales características, en términos generales, se describen a continuación.

En condiciones El Niño la magnitud y el área de cubrimiento de las anomalías positivas de temperatura de la superficie del mar asociadas al fenómeno inducen un fuerte forzamiento a la circulación atmosférica global. Sobre el Pacífico tropical se presenta debilitamiento de los vientos del Este (alisios) en los niveles bajos de la atmósfera (850 hPa) y en algunos casos la inversión de la dirección de los mismos, particularmente en eventos intensos. Los sistemas convectivos se organizan rápidamente en respuesta a la distribución de calor sobre la superficie del océano Pacífico tropical y la nubosidad convectiva se torna considerablemente reducida en la

---

10 La marea roja es un fenómeno natural consistente en el desarrollo masivo de fitoplancton, particularmente algunas especies de dinoflagelados. Se puede desarrollar en ambientes cálidos como también en ambientes fríos; también hay especies que pueden desarrollarse en los dos ambientes. En condiciones El Niño se desarrollan las que se ven favorecidas por las aguas cálidas.

región tropical que va desde la India, pasa por Indo-China, las Filipinas e Indonesia, hasta el Este de Papua Nueva Guinea; mientras tanto, sobre el Pacífico tropical central y Oriental los procesos convectivos se desarrollaron intensamente, aportando altos volúmenes de precipitación e inundaciones, particularmente en la zona costera de Perú y Ecuador. En contraste con la condición anterior, durante El Niño se produce déficit de precipitación e inclusive sequías principalmente en África, el sector de Australia e Indonesia y en la parte tropical de América del Sur. Una síntesis de los efectos climáticos de los fenómenos de El Niño y de La Niña se puede apreciar en las Figuras 6.3 y 6.4.

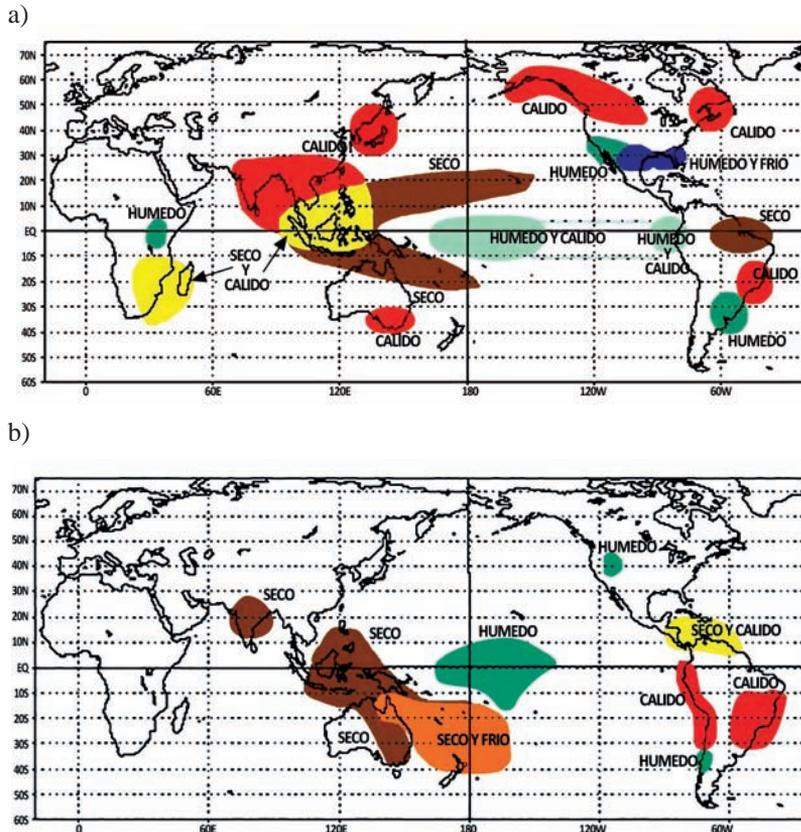
En América tropical la situación es la siguiente. Dado que las máximas anomalías de temperatura superficial asociadas al fenómeno de El Niño se localizan en una larga franja paralela al Pacífico ecuatorial frente a la costa suramericana, la mayor convección se presenta en esta zona, situación que altera la circulación meridional de Hadley y genera anomalías en la nubosidad convectiva de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), lo cual favorece una alteración considerable de la distribución estacional de las lluvias, particularmente en la América tropical. La franja de convección asociada a las anomalías de TSM se presenta al Sur de la posición normal de la ZCIT, situación que se registra prácticamente durante todo el año de El Niño. En algunos eventos fuertes o muy fuertes como el de 1997-98, la posición de la franja convectiva llegó hasta los 15°S, 5° de latitud más al Sur de la posición normal de la ZCIT.

El desplazamiento de la zona convectiva al sur, da lugar a que la zona de alta presión Subtropical del Atlántico y del Caribe se localice más al Sur de su posición normal, generando déficit de precipitación, particularmente en la mayor parte del Norte de Suramérica, especialmente en el invierno del hemisferio norte. Por otra parte, debido a la presencia de aguas superficiales cálidas en el Pacífico tropical Oriental, el Anticiclón del Pacífico Sur se debilita y se desplaza hacia el Suroeste.

Otra anomalía en el sistema de circulación regional de América del Sur está asociada con el atraso en aparición y el desplazamiento hacia el Este de la Alta de Bolivia, sistema que influye en la distribución espacio-temporal de la precipitación de Bolivia y Perú. Cuando esta condición ocurre, se generan precipitaciones en la parte Sur de Perú y desaparecen en la mayor parte de Bolivia.

Durante los eventos El Niño se observan importantes aumentos en la temperatura del aire en el sureste de Australia, noroeste y noreste de América, Centroamérica y norte de Suramérica y áreas centrales del oriente y occidente de Suramérica, sector suroriental de África y el noreste de Asia; en contraste, se aprecia un fuerte descenso en la temperatura del aire en una franja que cubre el sur y sureste de los Estados Unidos, así como en el noreste de Australia (Figura 6.3).

Se tiene establecido que durante los eventos El Niño los volúmenes de precipitación se ven ampliamente incrementados en el sector tropical del océano Pacífico central y oriental, la mayor parte del territorio de los Estados Unidos, el norte de Europa, el litoral Pacífico del sur de Colombia, Ecuador y Perú, el área comprendida entre los límites del sur de Brasil, Uruguay y el norte de Argentina.



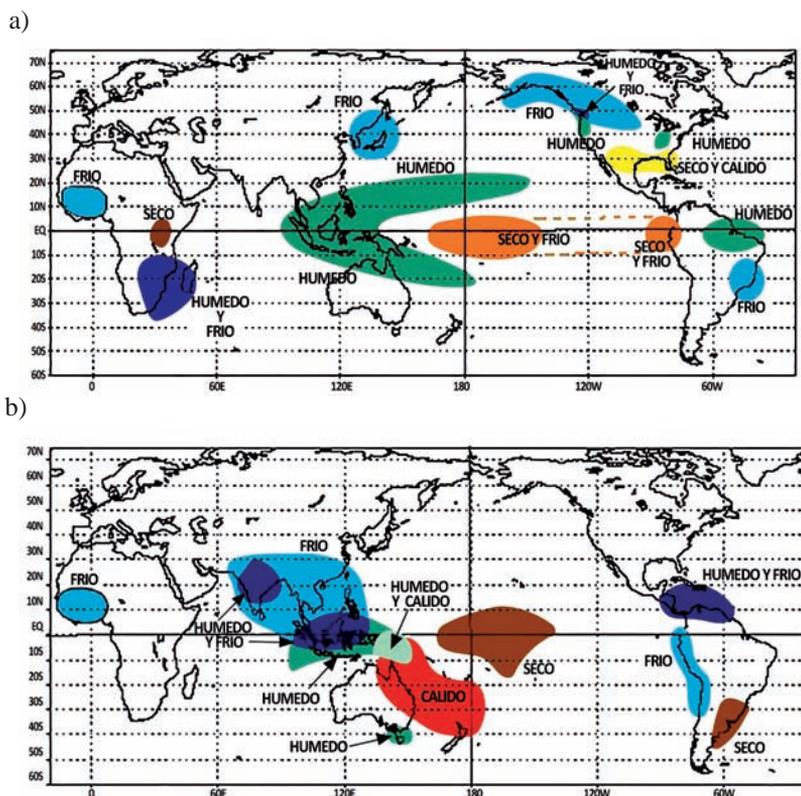
**Figura 6.3.** Esquema representativo de los efectos climáticos observados en el planeta, durante la ocurrencia de los fenómenos de El Niño: a) invierno del hemisferio norte; b) verano del hemisferio norte. El rojo muestra las regiones con temperatura del aire por encima de lo normal (más cálidas que lo normal); el amarillo – seco y cálido; el anaranjado, las zona con déficit de lluvia y temperaturas por debajo de lo normal; el verde oscuro – las zonas con más lluvias que lo normal; verde claro – húmedo y cálido. Fuente: CPC/NCEP/NOAA, Estados Unidos de América.

En el sector tropical, el desplazamiento hacia el oriente (hasta el Pacífico central) de las celdas de mayor convección y abundantes precipitaciones durante los episodios cálidos origina condiciones anormalmente secas en la mayor parte de Australia, Indonesia y las Filipinas. De igual forma, se experimentan fuertes disminuciones

pluviométricas en el sector tropical del océano Pacífico occidental, áreas muy localizadas del sudeste Asiático, la franja media y algunos sectores del noreste y sudeste de África, el noreste de Brasil, (particularmente durante la estación de invierno del hemisferio norte. Durante la estación de verano las lluvias del Monzón de la India tienden a ser menores que lo normal, particularmente hacia el noroeste de India) y gran parte del sector noroccidental de Suramérica.

#### 6.4. El efecto climático del fenómeno de La Niña en diferentes regiones del planeta

En la Figura 6.4 se resumen los efectos del fenómeno de La Niña en dos estaciones opuestas: verano e invierno del hemisferio norte.



**Figura 6.4** Esquema representativo de los efectos climáticos observados en el planeta, durante la ocurrencia de los fenómenos La Niña. a) invierno del hemisferio norte; b) verano del hemisferio norte. El color rojo muestra las regiones con temperatura del aire por encima de la normal (más cálidas que lo normal); el color anaranjado, las zonas con déficit de lluvias; el color azul – las zonas con más lluvias que lo normal. Fuente: CPC/NCEP/NOAA, Estados Unidos de América.

Durante el invierno del hemisferio norte, se observan importantes disminuciones en la temperatura del aire en el noroeste de Norteamérica, el área comprendida entre los límites del sur de Brasil, Uruguay y el norte de Argentina, el noroeste y sudeste de África y una pequeña área del extremo nororiental de Asia. Contrastando con esta situación se aprecia un fuerte incremento en la temperatura del aire en una franja que cubre el sur de los Estados Unidos y el norte de México. Durante esta época, se registran disminuciones de la temperatura del mar a todo lo largo del sector tropical de la cuenca del océano Pacífico, expandiéndose hacia el norte y hacia el sur frente a las costas de centro y sur América. En el verano boreal, la temperatura del aire registra sensibles disminuciones el litoral Pacífico del sur Colombia, Ecuador, Perú y norte de Chile y la mayor parte del mar Caribe y aumentos considerables en la temperatura del aire en la región insular de Indonesia.

También se tiene establecido que durante los eventos La Niña y para la época del verano austral, los volúmenes de precipitación se ven ampliamente incrementados en el sector tropical del océano Pacífico occidental, la mayor parte del territorio insular de Indonesia, el extremo norte de Suramérica, el noreste de Brasil y el extremo suroriental de África. Antagónicamente, se experimentan fuertes disminuciones pluviométricas en el sector tropical del océano Pacífico Centro Oriental, extendido hasta las costas del sur de Colombia, Ecuador y norte de Perú. Durante el invierno del hemisferio sur, los excedentes de lluvia permanecen en el Pacífico occidental y se extienden a la casi totalidad de Centro América, el norte de Suramérica, el mar Caribe. En contraste, se registran severas deficiencias de agua en el Pacífico central y el sector centro oriental de Argentina.

## **6.5. El efecto del fenómeno de El Niño sobre el territorio de la Comunidad Andina de Naciones**

La mayor parte de los países de la región Andina están altamente influenciados por el fenómeno de El Niño y por su efecto climático. El ambiente marino y costero de Perú, Ecuador y Colombia se ven directamente afectados por dicho fenómeno. A excepción de Venezuela, donde al parecer la influencia del fenómeno es menor, el efecto climático en la región es considerable.

Como un ejemplo del efecto y de los impactos de los fenómenos El Niño en la región se puede presentar el caso de 1997-98, que ha sido analizado en detalle e incluso publicado por *Corporación Andina de Fomento, 2000 a, b, c, d, e.*

### **6.5.1. Efecto directo en el ambiente marino y costero de Colombia, Ecuador y Perú**

En la costa Pacífica colombiana, ante la presencia de un fenómeno de El Niño la temperatura de la superficie y el nivel medio del mar presentan incrementos

importantes. En esta región las anomalías positivas (valores por encima de lo normal) de temperatura de la superficie del mar alcanzan los 2 y 3°C; el nivel medio del mar se incrementa entre 20 y 30 centímetros.

En la costa ecuatoriana las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar son un poco mayores y pueden alcanzar valores de 4 a 5°C en eventos El Niño débiles y entre 12 y 20°C en los fuertes y muy fuertes. Entre tanto, el nivel del mar presenta valores hasta 40 centímetros y más por encima de lo normal.

En el Perú, los efectos del fenómeno de El Niño tienen su mayor expresión en el medio marino y costero del sector norte (departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque), en donde se produce un aumento de la temperatura del mar, la cual se sitúa entre 28°C y 33°C, cuando normalmente en época de verano los valores llegan hasta 24°C. En el año 1983, por ejemplo, la temperatura de la superficie del mar registrada en Chicama sobrepasó los 10°C por encima de lo normal.

La invasión de aguas relativamente cálidas produce la profundización de la termoclina frente a las costas de América del Sur. Frente a Perú y Ecuador, la termoclina normalmente se localiza a unos 50 metros de profundidad. En eventos El Niño, esta se puede ubicar a profundidades entre 120 y 150 metros. Con esta alteración ocurre la aparición de diversas especies marinas propias de aguas tropicales y la desaparición de otras especies típicas de la zona.

El aumento de la temperatura superficial y subsuperficial del agua frente a la zona costera de Colombia, Ecuador y Perú produce un cambio considerable en las condiciones ambientales del mar, el cual da lugar a una emigración masiva de las especies y la inmigración de otras poco comunes en estas áreas marítimas, lo cual ya se mencionó en el punto 6.2 de este capítulo.

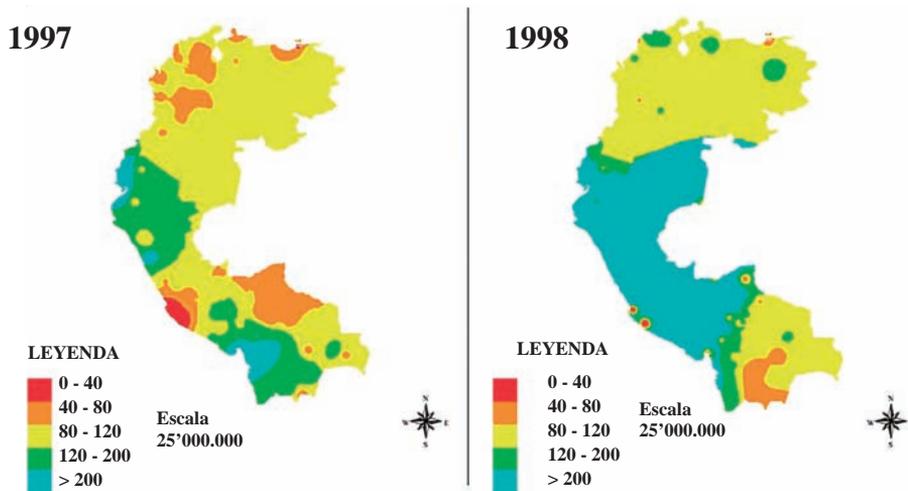
### ***6.5.2. Efecto climático de los fenómenos de El Niño y de La Niña en los países de la Comunidad Andina de Naciones***

El fenómeno de El Niño altera los patrones climatológicos de la región a través de la influencia en la posición y dinámica de los sistemas como la ZCIT, los centros de alta presión subtropicales, la Alta de Bolivia y la corriente chorro de Suramérica. En la Figura 6.5 se presenta la distribución espacial de las anomalías de precipitación ocurridas durante el evento intenso de 1997-98. Esto ilustra sobre el efecto climático diferenciado a lo largo del territorio de los países de la Comunidad Andina de Naciones (CAN).

En términos generales, los aspectos más destacados del efecto climático del fenómeno de El Niño en la región CAN son los siguientes: incremento de la temperatura del aire en gran parte de la región; abundantes lluvias en la vertiente del Pacífico de los

diferentes países andinos, particularmente en la franja ecuatorial o costa Pacífica del norte de Perú, Ecuador y sector sur del Pacífico colombiano; déficit de precipitación en el sector interandino (sierra, altiplanos, valles interandinos) y en la región Caribe. Aunque no es simétricamente inverso, el efecto climático del fenómeno La Niña es prácticamente lo contrario, a saber: las temperaturas medias mensuales tienden a estar por debajo de lo normal, llueve menos que lo normal en el sector ecuatorial de la costa Pacífica y llueve más en la parte interandina.

Sin embargo, en cada país el efecto tanto del fenómeno de El Niño como de La Niña tiene sus particularidades, la cual es necesario presentar con cierto detalle. A continuación, siguiendo el orden de ubicación geográfica de norte a sur, se ilustra ésta con base en lo que ocurre con el clima de los diferentes países durante eventos El Niño.



**Figura 6.5.** Distribución espacial del porcentaje de precipitación (referenciada al promedio 1961-1990) sobre el territorio de los países de la Comunidad Andina de Naciones durante el evento de El Niño de 1997-98. ; Déficit (color anaranjado y rojo) para porcentajes inferiores al 80% de lo normal. Excesos (colores verde y azul) para porcentajes superiores al 120 % de lo normal.

### *Efecto climático del fenómeno de El Niño en el clima de Venezuela*

En la variabilidad climática de Venezuela intervienen diferentes factores dentro de los cuales se destaca la influencia de los procesos del Océano Atlántico tropical. No obstante, según han podido establecer diferentes autores (*Martelo, 1998; Rojas, 1998; Corporación Andina de Fomento, 2000; Córdova, 2003*) el fenómeno de El Niño induce algunas señales en esta variabilidad.

En la mayor parte de Venezuela bajo condiciones El Niño se registran temperaturas medias mensuales por encima de lo normal, especialmente en los Llanos centrales. Tal

fue el caso del evento El Niño 1997-98 que en enero de 1998 propició temperaturas medias del aire en 3 y 4°C por encima de los promedios.

La respuesta al ciclo ENOS es más notable en el sector occidental del territorio venezolano en donde se registran disminuciones de precipitación cuando ocurren eventos El Niño y aumentos en condiciones La Niña. En la parte sur-oriental, en la Guyana Venezolana, particularmente en la cuenca del río Caroní, al parecer sólo los eventos fuertes El Niño producen un marcado déficit de precipitación. En el sector de los Llanos centrales y orientales, así como sobre la Cordillera de la Costa al norte, no hay un patrón definido de respuesta a las fases extremas del ciclo ENOS.

#### *Efecto climático del fenómeno de El Niño en el clima de Colombia*

Con la presencia de fenómeno de El Niño, las temperaturas del aire son relativamente altas (mayores que lo normal) durante las horas del día, especialmente en las zonas bajas del litoral Pacífico, el interior de los valles interandinos, la región Caribe y la parte oriental de la Orinoquia y la Amazonia. Por el contrario, la temperatura del aire en horas de la noche y madrugada desciende a valores por debajo de lo normal debido a las condiciones relativamente secas; en las zonas de montaña y los altiplanos se incrementan la probabilidad de ocurrencia de heladas en los altiplanos nariñense, cundiboyacense y en las montañas de Antioquia y Santanderes.

La temperatura media mensual presenta valores por encima de los promedios multianuales y las anomalías positivas pueden llegar a valores cercanos a 2°C, particularmente en el suroccidente. En las partes bajas de las regiones Andina y Caribe, las anomalías mensuales registradas pueden ser mayores.

Bajo condiciones El Niño, generalmente se presenta una reducción moderada de las lluvias (es decir, volúmenes mensuales de precipitación disminuidos en un 20% o más de lo que usualmente se registra) en las regiones Caribe y Andina. En contraste se presenta un aumento moderado de las lluvias (volúmenes mensuales de precipitación superiores a los promedios históricos en 20% o más) en el sector centro-occidental de la Amazonía, en el pie de monte llanero y en la franja costera de los departamentos de Cauca y Nariño.

En términos generales, se ha podido establecer que el mayor efecto climático, derivado de los fenómenos El Niño y La Niña, ocurre durante el primer trimestre del segundo año de aparición del evento, el cual es muchas veces coincidente con la fase madura de los fenómenos, es decir, cuando se presentan las mayores anomalías en el océano y la atmósfera del Pacífico tropical (IDEAM, 2007). Estacionalmente, el efecto es más acentuado en las temporadas secas que en las lluviosas.

### *Efecto climático del fenómeno de El Niño en el clima de Ecuador*

La temperatura del aire se incrementa entre 3 y 4°C por encima de lo normal, particularmente en el sector litoral. Eventualmente pueden presentarse anomalías de hasta 5°C (como ocurrió en junio de 1997).

El efecto climático es bastante marcado en la precipitación del sector litoral Pacífico, particularmente en la parte del piedemonte de la cordillera de Los Andes. En diferentes lugares de esta región los excesos de precipitación en la estación lluviosa (diciembre-mayo) pueden sobrepasar los 1000 milímetros en eventos fuertes y, en casos excepcionales como 1982-83 y 1997-98 (eventos muy fuertes) los 2000 milímetros.

En la zona norte costera y en las regiones situadas sobre los 1500 metros sobre el nivel del mar de la vertiente occidental de la cordillera de Los Andes, el efecto sobre la precipitación es menos marcado. En cuanto a los valles interandinos, según se tiene establecido hasta ahora, no se presentan anomalías extremas de precipitación.

### *Efecto climático del fenómeno de El Niño en el clima de Perú*

El efecto climático del fenómeno de El Niño en el territorio peruano es diferenciado. Se presentan algunos sectores con respuesta particular del clima: el sector norte costero, la región amazónica o Selva al Este de Los Andes, el altiplano y la costa sur.

La temperatura media del aire presenta anomalías positivas de gran magnitud en todo el territorio peruano durante eventos El Niño, pero especialmente en el sector norte y centro de la franja costera. En el caso de 1997-98 se presentaron anomalías hasta de 8°C por encima de lo normal (diciembre/1997 y enero/1998).

Las lluvias durante eventos El Niño son extremadamente abundantes en el sector costero norte. Allí se registran volúmenes de precipitación que representan varios miles de porcentaje en relación con lo normal. Como ejemplo de esto, se puede citar el sector de Piura-Trujillo, en donde a finales de 1997 y comienzos de 1998 se registraron volúmenes de precipitación de más de 1000% (en Piura llovió en enero de 1998 el 26.000% del promedio multianual de ese mes!). En el sector sur, aunque la precipitación se incrementa durante eventos El Niño, las anomalías no alcanzan valores tan altos.

En la sierra del Perú, durante la presencia de condiciones El Niño generalmente llueve menos que lo normal, situación que en algunas zonas de esta región se prolonga y puede convertirse en sequía intensas. En el sector oriental (la selva), cuando se presentan eventos El Niño, las lluvias tienden a aumentar y generarse volúmenes por encima de lo normal.

*Efecto climático del fenómeno de El Niño en el clima de Bolivia*

La respuesta del clima del territorio boliviano al fenómeno de El Niño tiene patrones diferenciados para las regiones Altiplano, los Valles, las llanuras de oriente (la zona plana del río Beni, las Pampas de Moxos y Amazonía) y el Chaco, al suroriente.

Casi en todas las regiones durante eventos El Niño la temperatura media mensual del aire en los meses de diciembre, enero y febrero (cuando se presenta la máxima intensidad del calentamiento en el Pacífico) presenta anomalías positivas que sobrepasan los 2°C. En episodios fuertes, como el de 1997-98, en los meses de enero y febrero las anomalías de temperatura media mensual del aire sobrepasan los 3°C en algunos lugares de las diferentes regiones.

Durante los eventos El Niño, la precipitación en el altiplano y en los valles tiende a ser deficitaria, mientras que en la región oriental generalmente se presentan volúmenes por encima de lo normal; en el Chaco se presenta déficit de precipitación. Sin embargo, en eventos específicos se presentan algunas diferencias de este patrón como en el caso del evento de 1997-98 cuando los excesos de lluvias no fueron generalizados para todo el sector oriental.

**Referencias Bibliográficas**

- Arntz W.E., Fahrbach E., 1996: El Niño: Experimento climático de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México D.F., 312 p.
- Córdoba K., 2003: Impactos socio-ambientales de la variabilidad climática. Sequías en Venezuela. Terra (Universidad Central de Venezuela), vol. XVIII-XIX, No. 27-28, pp. 35-52.
- Corporación Andina de Fomento, 2000a: El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen II: Bolivia. Ex Libris, Caracas, Venezuela, 280 p.
- Corporación Andina de Fomento, 2000b: El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen III: Colombia. Ex Libris, Caracas, Venezuela, 242 p.
- Corporación Andina de Fomento, 2000c: El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen IV: Ecuador. Ex Libris, Caracas, Venezuela, 311 p.
- Corporación Andina de Fomento, 2000d: El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen V: Perú. Ex Libris, Caracas, Venezuela, 293 p.
- Corporación Andina de Fomento, 2000e: El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen VI: Venezuela. Ex Libris, Caracas, Venezuela, 248 p.
- Cortés-Altamirano R., Núñez-Pastén A., 1992: Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. México. *Anal. Inst. Ciencias del Mar y Limnol.*, 19, 113-121.

- Couper-Johnston R., 2000: El Niño. The Weather Phenomenon that Changed the World. Coronet Books, London, 354 p.
- Forrester A.L., 1997: The Effects of El Niño on Marine Life. Tomado de <http://www.csa.com/discoveryguides/archives/elnino.php>
- Gárate-Lizárraga I., Siqueiros-Beltrones D.A., 1998: Time variation in phytoplankton assemblages in a sub-tropical lagoon system after the 1982-1983 El Niño event (1984 to 1986). *Pacific Sci*, 52, 79-97.
- Glantz M.H., 1997: Currents of Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK, 194 p.
- Glantz M.H., 1998: Full Summary of Review of the Causes and Consequences of Cold Events: A La Niña Summit, 15-17 July/1998, Boulder Colorado. Tomado de la página Web <http://www.esig.ucar.edu/lanina>.
- González-López I., 1994: Microalgas planctónicas como indicadoras biológicas de El Niño en el Golfo de California. In: *Tópicos Selectos sobre Microalgas* (Siqueiros-Beltrones D.A., D.Voltolina-Lobina, and A.M. Jaramillo-Legorreta, eds). Serie Científica. UABCS, México, 2, 1-15.
- Lagos, C.P., 1984: Ocean Circulation in the Eastern Pacific and “El Niño”. En: “Environment and Resources in the South Pacific. A regional Approach”, edited by Arthur Lyon and Jeremy Carew-Reid.
- Lehodey P., Bertignac M., Hampton J., Lewis A., Picaut J., 1997. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, v. **389**: 715-718.
- Lehodey P., 2001. The pelagic ecosystem of the tropical Pacific Ocean: Dynamic spatial modelling and biological consequences of ENSO. *Progress in Oceanography*, v. **49** pp. 439-468.
- Martelo M.T., 1998: Comportamiento del sistema climático en Venezuela durante el evento El Niño 1997-1998. (Trabajo realizado para la Corporación Andina de Fomento).
- McKinnell S.M., Brodeur R.D., Hanawa K., Hollowed A.B., Polovina J.J., Zhang C.-I., 2001: An introduction to the Beyond El Niño conference: climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic. *Progress in Oceanography*, v. **49**, pp. 1-6.
- Mee, L. D., Ramírez-Flores A., Flores-Verdugo F., González-Farías F., 1985: Coastal upwelling and fertility of the southern Gulf of California: Impact of the 1982-1983 ENSO event. *Trop. Ocean Atmosph. Newsletter*, **31**.
- Melson A., Meyers S.D., Hurlburt H.E., Metzger J.E., O’Brien J.J., 1999: ENSO Effects on Gulf of Alaska Eddies. *Earth Interactions*, v. **3**, pp. 1-30.
- Melsom A., Metzger E. J. Hurlburt H.E., 2003: Impact of remote oceanic forcing on Gulf of Alaska sea levels and mesoscale circulation, *J. Geophys. Res.*, 108(C11), 3346, doi: 10.1029/2002JC001742.
- Miller K.A., 1996: Salmon stock variability and the political economy of the Pacific salmon Treaty. *Contemporary Economic Policy*, v. **14**, No. 3, pp. 112-129.

- Miller K.A., Fluharty D.L., 1992: El Niño and Variability in the Northeast Pacific salmon Fishery. In: Glantz M.H.(Edtr). *Climate Variability, Change and Fisheries*, Cambridge University Press, pp. 49-88.
- Ochoa J.L., 2003: ENSO phenomenon and toxic red tides in Mexico. *Geofísica Internacional*, v. **42** (3), pp. 505-515.
- Onton K., Soto K., Arias-Schreiber M., 1997: Distribución y abundancia relativa de cetáceos en el mar peruano durante el crucero de evaluación del stock de Merluza, BIC Humboldt 9705-06. Informe del Instituto del Mar del Perú. N° **128**.
- Peel M.C., McMahon T.A., Finlayson B.L., 2000: Variability of Annual Precipitation and Its Relationship to the El Niño-Southern Oscillation. *J. Climate*, v. **15**, pp. 545-551.
- Ramírez P., 1989a: Alimentación de la “ballena Bryde” durante el fenómeno “El Niño”. *Boletín de Lima*, N° **62**.
- Ramírez, P., 1989b: Captura de cetáceos mayores desde las estaciones costeras del Perú: 1951-1985. *Boletín de Lima*, N° **64**.
- Ramírez P., Urquiza W., 1985: Los Cetáceos Mayores y el Fenómeno “El Niño” 1982 –1983. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, Volumen Extraordinario.
- Rasmusson E.M., Carpentier T., 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillation /El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, v. 110, pp. 354-384.
- Rasmusson E. M., Wallace J.M., 1983: Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*, v. **222**, N°4629; pp: 1195-1202.
- Rodríguez, L., O. Zarate y E. Oyarce. 1985: “Marea roja” durante septiembre y octubre de 1982 en la bahía San Jorge-Antofagasta, **109** Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21 (2): 273-294.
- Rodríguez L., 2004: Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile.. En Libro El Niño - La Niña 1997 - 2000. Sus efectos en Chile. (Avaria S., Carrasco J., Rutllant J., Yáñez E, (Eds.). Comité Oceanográfico Nacional (CONA), Chile, Valparaíso), pp. 97-118 (Publicado en la Web URL <http://www.cona.cl/libroelnino/articulos.htm>, consulta realizada en julio de 2007).
- Rojas de Mendiola B., 1979: Red tide along the Peruvian coast. In *Toxic Dinoflagellate Blooms* (D.L. Taylor and H.H. Seliger (Edts), Elsevier North Holland, New York), pp. 183-190.
- Rojas M.I., 1998: Influencia de los Océanos Pacífico y Atlántico sobre el comportamiento de la precipitación en Venezuela.
- Ropelewski C.F., Halpert M.S., 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, pp. 1606-1626.
- Sánchez R., Arias-Schreiber M., 1998: Cetáceos observados frente a la costa peruana y su relación con la distribución y abundancia de los recursos pelágicos. Crucero BIC Humboldt 9808-09 de Paita a Callao. Informe del Instituto del Mar del Perú, N° **141**, pp.55-66.

- Sierra-Beltrán A.P., Lluch-Cota D.B., Lluch-Cota S.E., Cortés-Altamirano R., Cortés-Lara M.C., Castillo-Chávez M., Carrillo L., Pacas L., Víquez R., García-Hansen, I., 2004: Dinámica espacio-temporal de organismos precursores de marea roja en la costa Pacífica de América del Norte y Centroamérica. *Rev. Biol.Trop.*, v.52 (supl.1), p.99-107.
- Smith P. E., 1999. A case history of an anti-El Niño to El Niño transition on plankton and nekton distribution and abundances. In: *El Niño North. Niño effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean.* (Wooster W.S. and D.L. Fluharty, eds.). Washington Sea-Grant Program. Univ. Washington. Seattle), pp. 121-142.
- Torres-Zambrano G., 2000: Mareas rojas durante 1989-1999, en aguas ecuatorianas. *Acta oceanográfica del Pacífico.* v. 10. Documento publicado en la Web. URL [http://www.inocar.mil.ec/docs/ACTAS/OCE10/OCE1001\\_12.pdf](http://www.inocar.mil.ec/docs/ACTAS/OCE10/OCE1001_12.pdf).
- Ward M.N. (Ed.), 2000: Report of the Workshop on Interannual Climate Variability and Pelagic Fisheries. (Nouméa, Nouvelle Calédonie 6<sup>th</sup> - 24<sup>th</sup> November 2000). International Institute for Climate Prediction (IRI). Lamont-Doherty Laboratory, University of Columbia, Palisades, N.Y, 32 p.
- Yañez E., Barbieri M.A., Silva C., Nieto K., Espíndola F., 2001: Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. *Progress in Oceanography*, v. 49, pp.581-586.

IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LAS FASES EXTREMAS  
DE EL NIÑO - LA NIÑA EN DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO

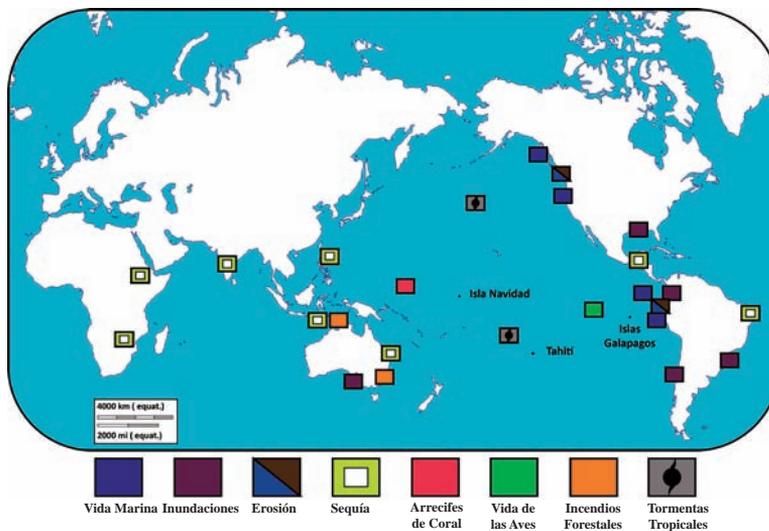
---

Los ecosistemas y los sistemas humanos (sistemas socioeconómicos) se han adaptado a los patrones climáticos dominantes (por ejemplo a promedios de temperatura, precipitación y a una frecuencia media de los fenómenos meteorológicos). En la medida como estas condiciones “normales” se alteran, los ecosistemas y el sistema socioeconómico se desajustan, lo que generalmente trae consecuencias negativas. Una de las causas de tales alteraciones son las fases extremas de la variabilidad climática, en las que se presentan anomalías de temperatura del aire, de la precipitación y de otros elementos climatológicos.

Los fenómenos de El Niño y de La Niña inducen la señal más destacada en la variabilidad climática de diferentes regiones del planeta y generan condiciones anómalas, en muchos casos extremadamente marcadas. Las alteraciones climáticas (temperaturas y precipitaciones mayores que lo normal o la condición inversa; generadas por estos y la acentuación de fenómenos hidroclimáticos asociados (sequías extremas, inundaciones y cambios de la frecuencia de eventos, como las tormentas o lluvias torrenciales, entre otros; ver Figura 7.1), desencadenan condiciones favorables para la intensificación de la erosión, los incendios forestales, crecientes súbitas o inundaciones, pérdidas de infraestructura (vías, puentes, edificaciones, vivienda, ductos de transporte de combustible y energía), pérdidas de cosechas y animales, aumento de la incidencia de enfermedades en humanos, proliferación de plagas y enfermedades en plantas y animales. A través de estas alteraciones, los fenómenos El Niño y La Niña impactan las regiones generando no solo pérdidas económicas y ambientales, sino también, ocasionando problemas sociales en las regiones como desempleo, desplazamiento de población e inmigración a otras regiones, con perjuicio para estas últimas. Así, los fenómenos de El Niño y de La Niña han incidido y continúan incidiendo, en ocasiones de manera decisiva, en el desarrollo de las sociedades asentadas en diferentes regiones del planeta.

Los impactos más notables relacionados con el fenómeno El Niño en la escala mundial son los generados por la sequía, en sectores de Australia, en África, la India, Sudeste asiático, Indonesia, Centroamérica y el Caribe y, el noreste de Suramérica. Estas condiciones secas prolongadas traen como consecuencia, la reducción de la producción agrícola y el desabastecimiento de agua para la población, situación que

en casos extremos, llevan a hambrunas como las reportadas en África; las condiciones secas conllevan igualmente a incendios forestales y erosión eólica de gran magnitud, como la registrada en Australia en los eventos 1982-1983 y 1997-1998. En otras regiones del planeta, como la costa Pacífica de Perú y Ecuador, así como en el sureste de Brasil o el sur de California, las inundaciones y los deslizamientos generan situaciones de desastre



**Figura 7.1.** Condiciones anómalas y eventos extremos desencadenados por el fenómeno El Niño en diferentes partes del mundo y aspectos del medio biofísico que se ven impactados al exponerse a las condiciones de El Niño. Ilustración elaborada con la información publicada en la página <http://www.atmos.washington.edu/gcg/RTN/rtnt.html>

En general, los fenómenos El Niño y La Niña inciden de manera marcada en el desarrollo de los países. En el caso de los fenómenos El Niño de 1982-1983 y 1997-1998, los más documentados (la situación 2014-2016 está aún en análisis), hubo situaciones críticas en diferentes regiones como la reducción de la producción agrícola, disminución de la oferta natural de agua, con crisis para su abastecimiento a la población y en la generación de hidroenergía, desastres por incendios forestales o por inundaciones, incremento de la incidencia de algunas enfermedades tropicales, entre otros. Asociado a ello, hubo dificultades en el sector agropecuario y agroindustrial, en la provisión de energía, en los sectores industrial y comercial, así como en la salud pública, lo que afectó en diverso grado, el bienestar de las naciones del planeta y se vio reflejado en los indicadores macroeconómicos de diversos países, en esos años.

Hay que reconocer que los fenómenos de El Niño y de La Niña generan no solamente impactos negativos. Las anomalías climáticas asociadas a los mismos pueden ser condiciones favorables para el desarrollo de diversas actividades socioeconómicas. El conocimiento sobre la forma como impactan a los sectores socioeconómicos y a las regiones, permite preparar mejor a la sociedad para reducir los impactos negativos y sacar ventaja de las situaciones favorables.

A continuación, se ilustra con un resumen de diversas formas de impacto socioeconómico del fenómeno El Niño desde el nacimiento de las civilizaciones hasta los años recientes, la incidencia de este tipo de condiciones extremas en la sociedad a través de la historia.

### **7.1. Sobre el impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en las sociedades a través de la historia**

A través de su efecto climático (períodos de sequías o de abundantes y fuertes lluvias acompañadas de grandes eventos torrenciales e inundaciones y de otras condiciones extremas) los fenómenos El Niño y La Niña han afectado las sociedades en el pasado remoto y, al conjugarse con otros factores sociales adversos, han sido la causa del declive o colapso de civilizaciones establecidas en diferentes regiones del planeta en diversas épocas.

La conexión entre las fases extremas del ciclo ENOS y el desarrollo de los pueblos y culturas no es solo coincidencia, tiene explicación. Las condiciones climáticas que generan estos fenómenos afectan directamente la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua para diversos usos y propicia el desarrollo de plagas y enfermedades tanto para humanos como para animales. Estas condiciones sobre sistemas socioeconómicos con algún grado de vulnerabilidad (física, ambiental, económica, organizacional, política, etc.) produce efectos catastróficos. Y se debe entender que no son los fenómenos de El Niño y de La Niña los que por sí solos han producido el colapso de diferentes culturas, sino que han sido solo un factor que actuó sobre un fondo, en donde había otras condiciones (naturales o sociales) adversas.

Algunos autores (ver por ejemplo *Kerr, 1999; Caviedes, 2001*), señalan que las fuertes lluvias e inundaciones que se presentan en norte y centro de la costa de Perú asociadas a los eventos El Niño muy fuertes, pudieron haber sido una de las causas que pusieron en dificultades a las culturas preincaicas asentadas en dicha región como los sugieren los estudios de *Magilligan y otros (2001)*, *Keefer y Moseley (2004)* y de *Sandweis y otros (2009)* para la Caral-Supe (cultura que floreció por cerca de 2000 años desde hace 5800 aC.), o *Burger (2003)* para la Chavín (1200 aC. a 200 aC.), *Pozorki y Pozorski (2003)* para la cultura Moche o Mochica (siglos I-VII) y Chimú (X al XV). Según *Keefer y Moseley (2004)* y *Sandweis y otros (2009)* la conjugación

de fenómenos naturales extremos como sismos, las lluvias fuertes e inundaciones durante los eventos El Niño y la formación de playas y la incursión de las dunas de arena, llevaron a situaciones de desastre a las ciudades de las culturas antiguas de esta región. De igual manera, *Binford y otros (1997)* señalan a fases extremas de variabilidad climática como las creadoras de condiciones que impulsaron el abandono de la región y el colapso de la civilización Tiwanaku asentada en el altiplano peruano-boliviano.

También hay evidencias de que las alteraciones climáticas generadas por fenómeno El Niño o La Niña pudieron incidir en el desarrollo, declive y colapso de las culturas mesoamericanas. Así, *Messenger (2002)*, quien correlacionó datos paleo climatológicos (obtenidos del análisis de testigos de hielo del glaciar Quelccaya, Perú) con las sequías del sur de América Central desde el año 470, cubriendo los períodos Clásico y Postclásico de los Mayas, sugiere una alta relación entre los fenómenos El Niño con las sequías de esa época. *Haugh y otros (2003)* y *Haugh (2005)* arguye que las sequías pudieron ser uno de los factores que exacerbó la crítica situación de los mayas al final del período clásico.

Es posible encontrar la conexión entre fenómenos El Niño o La Niña y la ocurrencia de algún acontecimiento trascendental en el desarrollo de diversas culturas en otros continentes. Por ejemplo, se ha indicado que las culturas del valle del río Nilo, para las que las “inundaciones” tienen especial importancia, han experimentado, desde tiempos remotos, períodos de inundaciones altas e inundaciones muy bajas. *Eltahir (1996)* estudió detalladamente la conexión entre El Niño y los niveles del río Nilo y concluyó que gran parte de esta variabilidad está asociada al ciclo ENOS, que incide en la precipitación sobre la parte alta del río, la meseta de Etiopía (El Niño reduce la precipitación en esta región). *Quinn (1992)*, quien hace una revisión de la variabilidad de los niveles del río Nilo, que se remonta a la época de la civilización egipcia bajo el dominio de los faraones, indica que la duración de 7 años para las fases de “baja inundación” son una particularidad de períodos fríos (como la pequeña edad de hielo) y menciona que José<sup>11</sup> vivió en un período frío antes y después de 1780 aC (ver *Quinn, 1992; 144*). José tal vez conocía esta ciclicidad, lo que le permitió anunciar al faraón de la época, sobre la sequía (inundaciones bajas) que siguió a la abundancia (inundaciones altas), como se indica en Génesis 41, 29-30. De todas maneras, el conocimiento actual sobre esta conexión ENSO-niveles del río Nilo, se utiliza hoy en día para la predicción climática regional (*Wang y Eltahir, 1999*).

---

11 En la Biblia, en la parte correspondiente al Génesis aparece la historia de José, quien interpretó los sueños del faraón y le anunció que en la tierra de Egipto a siete años de abundancia le seguirían siete años de escasez. Los años de abundancia estarían asociados a años lluviosos y años de escasez a condiciones secas.

A través de su efecto en el monzón asiático (*Rasmusson y Carpentier, 1983; Shukla y Paolino, 1983; Li, 1990; Whitaker y otros, 2001*), los fenómenos El Niño han marcado también momentos destacados, en ocasiones dramáticos, en las civilizaciones establecidas en el valle del Brahmaputra y del Ganges, así como las del Este asiático (particularmente las localizadas sobre el río Amarillo o Yangtz-qiang). La obra de *Davies (2001, 2006)*, quien analizó principalmente el evento El Niño de 1877-1879, ilustra de manera contundente y dramática los impactos socioeconómicos de las anomalías climáticas asociadas al fenómeno El Niño en estas regiones.

**Tabla 7.1.** Algunos acontecimientos y desastres destacados en los dos últimos milenios que pudieron tener una relación con anomalías climáticas asociadas a fenómenos de El Niño y de La Niña.

Época o año	Acontecimiento	Anomalía climática facilitadora del acontecimiento
1450-1	Devastación de la ciudad de Tenochtitlan, Imperio Azteca.	Ocurrencia de severas heladas y caída de nieve que alcanzó alturas de decenas de metros.
1532	Buenas condiciones de tiempo favorecen el éxito de la expedición de Francisco Pizarro.	Excesivas precipitaciones favorecieron altos niveles del río Piura, y el reverdecer de las zonas áridas suplió de comida a hombres y animales.
1539-40	Falsa descripción de un desierto al norte de México por Fray Marcos.	Un desierto florecido con abundante vegetación y provisión de comida, fue descrito por el fraile durante una época El Niño. Una condición antagónica encontraron los de la siguiente expedición.
1578	Falsa descripción climática de la línea costera del norte de California por el almirante Francis Drake.	Inusuales condiciones de tiempo muy frío y el registro de muy bajas temperaturas, pudieron estar asociadas al efecto climático de un Niño fuerte seguido de una fase fría de la Niña, de similar intensidad.
1587	Inglaterra se salva de una invasión en la costa de Irlanda por parte de la Armada Española.	Ocurrencia de una fuerte tormenta vista hoy, solo como una parte de todo un catálogo de condiciones de tiempo extremo, con consecuencias a nivel global.
1640-1	Terrible epidemia azotó a China durante la dinastía Ming.	Una fuerte sequía trajo como consecuencia, enfermedades, epidemias, y una plaga de langostas, que diezmo gran parte de la población.
1652	Quiebra de una compañía holandesa en el Este de India	Abundantes y prolongadas precipitaciones inundaron el valle, destruyendo los cultivos de vegetales y frutas, así como la infraestructura montada para el desarrollo de la floreciente empresa.
1769-70	Hambuna causo 10 millones de muertos en el Este de la India (Bengala).	Ausencia total de lluvias durante los Monzones de otoño y verano.
1791-2	Descripción antagónica de las tribus que habitaban la costa norte de Nueva Caledonia, en un lapso de 16 años.	Las condiciones de sequía extrema, influidas por un fenómeno El Niño intenso, posiblemente el más fuerte del siglo XVIII, pudieron afectar el comportamiento observado en dos periodos diferentes.

1812	Rusia derrota a Napoleón	Un invierno extremadamente frío ocasiono muy bajas temperaturas.
1844-6	Un hongo (La roya de la papa), atravesó el Atlántico desde Norte América y asoló el norte de Europa.	Ocurrencia de inusuales y muy altos valores de humedad atmosférica junto con muy bajas temperaturas, en el norte de Europa.
1877-8	Seis millones de personas murieron a causa de la gran hambruna en China e India.	Extraordinaria sequía que comenzó con el más pobre Monzón de verano en 1876, se caracterizó por la ausencia total de las lluvias.
1879	Muerte de 13 millones de personas en China.	Extraordinarias precipitaciones del Monzón de verano causaron inundaciones en el norte y centro de China.
1888	Muerte de la tercera parte de la población de Etiopia	Las estaciones corta y larga de lluvias no se presentaron, dando origen a una sequía que arrasó los cultivos y generó a la aparición de epidemias virales que afectaron tanto a seres humanos como a animales.
1891	Fracaso de la mayor y mejor equipada expedición al sur y oeste de Australia.	Una sequía extrema fue una condición predominante en la mayor parte de esta región, durante la mayor parte del periodo.
1911	Dstrucción de 59 millones de acres y ahogamiento de 100000 personas en China.	Inusuales precipitaciones dieron origen a una de las mayores inundaciones del río Yangtzé. Se desarrolló un fenómeno La Niña.
1912	Hundimiento del Titanic.	Avance más hacia el sur de los icebergs que transitan durante el primer trimestre del año en el Atlántico Norte, invadiendo las rutas comerciales de los barcos.
1930-1	Expulsión de las autoridades francesas por los vietnamitas.	Pérdida de las cosechas a causa de condiciones climáticas severas asociadas a la sequía. En el Pacífico tropical se desarrollaba el evento El Niño de 1930 1931.
1941-2	Derrota de las tropas de Hitler en Stalingrado (URSS).	Durante el invierno de este periodo se registraron las más bajas temperaturas de los últimos 200 años en el noreste de Europa. Estaba en curso el evento El Niño de 1941-1942.

Todo lo anterior muestra las diferentes formas de impacto de las fases extremas del ciclo ENOS en la sociedad. Pero como si esto fuera poco, la huella de la conexión ciclo ENOS-sociedad va más allá de lo insospechado. Diversos autores han sugerido una conexión entre las anomalías climáticas generadas por los fenómenos de El Niño y de La Niña y algunos accidentes o hechos curiosos de la historia en el último milenio. En la Tabla 7.1, elaborada a partir de los trabajos de *Couper-Johnston (2000)*, *Caviedes (2000)*, *Fagan (2000)*, *Davies (2001; 2006)*, se presentan algunos hechos históricos destacados y las anomalías climáticas que pudieron propiciar el desenlace final.

Es necesario reiterar que no fueron los eventos de El Niño o de La Niña, como tales, los que causaron de manera directa los acontecimientos, sino que generaron condiciones bajo las cuales se podría dar las situaciones que conllevaron a los mismos. Tomemos por ejemplo el hundimiento del Titanic. No fue directamente el evento El Niño que

estaba ocurriendo el que lo causó. Las condiciones de El Niño solo generaron la situación en la que los icebergs avanzaron más al sur en el Atlántico norte de lo que normalmente ocurría. Al avanzar hacia el sur, los icebergs incursionaron en la latitud de la ruta de los barcos transoceánicos. En estas circunstancias aumentó la probabilidad de que un barco encontrara icebergs en su camino y, probablemente, chocara con alguno de ellos. Y, aunque parezca controversial, si hay explicación para la conexión Niño con estos accidentes. Si en esos años las condiciones del ciclo ENOS hubiesen sido neutrales o La Niña, muy probablemente no hubiese ocurrido.

## **7.2. Los impactos socioeconómicos de los eventos El Niño y La Niña más fuertes ocurridos en la segunda mitad del siglo XX.**

Los eventos El Niño y La Niña ocurridos durante la segunda mitad del siglo XX, en especial en los tres últimos decenios, han sido los mejor observados, analizados y documentados en sus diversos aspectos, particularmente el impacto socioeconómico. Durante este período se destacaron los eventos cálidos de 1957, 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998 y los fríos de 1971, 1974-1975, 1984, 1988-1989, 1999-2001. Una descripción sintética de los impactos socioeconómicos de estos eventos permite ilustrar la magnitud y las diversas formas de incidencia de los mismos en la sociedad.

En la historia reciente, tal vez el evento El Niño de 1972-1973 es el primero en mostrar cómo esta anomalía climática puede impactar a una sociedad mundial con un sistema económico interconectado globalmente como el actual. Este evento, a través de las teleconexiones en el sistema climático, no solo generó impactos en el medio biogeofísico de regiones remotas del planeta sino que, a través del efecto en el ambiente marino local y regional, afectó la producción pesquera peruana (una de las mayores del mundo en ese entonces), lo cual trajo una cadena de repercusiones en la economía mundial. La reducción de la oferta de harina de pescado que se utilizaba como alimento de los animales en los países industrializados, propició un cambio hacia la utilización de la harina de soya, lo que acentuó la demanda por esta última e incrementó exageradamente su precio en el mercado en 1974.

De la serie de impactos del fenómeno El Niño de 1972-1973 se recuerda la agudización de la sequía en la región de Sahel (África) que causó aproximadamente 200.000 muertos y millones de personas con hambre y desnutrición. Condiciones extremadamente secas afectaron también a regiones de la India, Sudeste asiático y Australia, especialmente en lo concerniente a la agricultura, hecho que impactó la seguridad alimentaria y la salud de la población de éstas regiones, generando igualmente centenares de víctimas.

Entre 1972 y 1973, la situación del Pacífico tropical, configuró sobre el territorio de la entonces Unión Soviética (URSS), un sistema de alta presión que bloqueó el paso

a los ciclones y frentes atmosféricos durante meses, generando una sequía severa y prolongada sobre la zona productora de cebada. La caída en la producción de cebada repercutió en el mercado mundial de granos: la URSS tuvo que importar grano, presionando la demanda en diferentes regiones del mundo lo que triplicó los precios del producto (*Moran y Morgan, 1994(229); Brown, 2009*).

Desde el fenómeno El Niño de 1982-1983, uno de los más intensos del siglo XX, se han venido realizando evaluaciones de los impactos socioeconómicos, con mayor atención. Según datos de entidades oficiales, en el Perú por ejemplo, país expuesto más directamente al fenómeno, el sector pesquero cayó en cerca del 40%, el agrícola en aproximadamente el 12% y otros sectores como el petrolero y minero (por afectación en la infraestructura) cayeron en 12 y 7% respectivamente y los daños a viviendas, carreteras y puentes afectaron el desarrollo de otras actividades como la construcción y el comercio. Se estima que el costo total para el Perú fue de 8 millones de dólares americanos y en términos de indicadores macroeconómicos el PIB en ese período se redujo en 11% (*BCRP, 1983*). Pero esto es solamente la parte cuantificable de los impactos; otras formas de impacto como el de la salud, las migraciones de población, las dificultades en la prestación de servicios sociales, fueron de gran magnitud pero se hacen poco visibles en las estadísticas.

En Ecuador, a consecuencia del evento de 1982-1983, hubo pérdidas del mismo orden de magnitud que las generadas en Perú, debidas a daños en vías férreas, puertos y caminos y, en la producción agrícola, a causa de las torrenciales lluvias y las consecuentes inundaciones. En otros países de Suramérica hubo pérdidas por lluvias intensas en algunas de sus regiones o por sequías, en otras. Según *CEPAL (1983)*, en Ecuador, el evento 1982-1983 trajo daños que ascendieron a US\$ 650 millones, con pérdidas importantes en los sectores productivos (63%), la infraestructura (33%) y los sectores sociales (4%). El monto de tales daños originó efectos negativos en el crecimiento del PIB, disminución de exportaciones, aumento del déficit fiscal y aumento de la inflación, entre otros, afectando el bienestar de amplios estratos de la población.

En Norteamérica, el impacto más notable del evento El Niño de 1982-1983, fue la pérdida de bienes y las víctimas debido a las tormentas de invierno que abatieron el sur de California e inundaron grandes extensiones de los estados del sur del territorio de los Estados Unidos.

El fenómeno de El Niño 1982-1983 marco su huella en otras regiones del planeta diferentes al continente americano. Según algunas estimaciones, el evento El Niño intenso de 1982-1983 causó pérdidas de por lo menos US\$ 13.000 millones debido a una drástica sequía registrada en Indonesia, lo cual provocó una producción muy escasa de arroz y en consecuencia, ocasionó hambruna, desnutrición, enfermedades y cientos de muertos. En este mismo período, Australia sufrió una de sus peores sequías;

las pérdidas por incendios y baja producción agrícola fueron de varios millones de dólares. En África, grandes extensiones de Botswana, Sudáfrica, Mozambique, Angola, Lesotho y Zambia, entre otros, se afectaron por un agudo déficit de lluvias y la consecuente sequía.

Otro ejemplo del impacto del fenómeno de El Niño en la sociedad lo produjo el evento de 1991-1992 el cual generó condiciones anormalmente húmedas en la región norteamericana, usualmente árida, conocida como Four Corners (las cuatro esquinas colindantes de los estados de Arizona, Colorado, Nuevo México y Utah), que propiciaron un incremento de la población de roedores transmisores del virus hanta, que se propagó en 1993 y afectó severamente la reserva de navajos localizada en esta región (*Engelthaler y otros, 1999*). Este evento acentuó también la crítica situación vivida en Australia por una de las sequías más devastadoras<sup>12</sup> de la segunda mitad del siglo XX que afectó el sector Este y Norte del continente, desde 1991 a 1996 (un poco más de 1820 días), lo que incremento las pérdidas en ganado, cultivos y la población afectada; el total de pérdidas para todo el período de sequía se estima en 5000 millones de dólares, además de cerca de 600 millones de dólares que tuvo que desembolsar la Comunidad para aliviar la situación, ante este desastre.

En 1997-1998 se registró el evento El Niño más intenso del siglo XX<sup>13</sup> el cual impactó considerablemente los sistemas socioeconómicos de diferentes regiones del planeta. Una síntesis de los impactos de este evento fue presentada en *WMO (1998)*; un análisis más detallado de los impactos así como de la respuesta de la sociedad mundial se pueden encontrar también en *WMO, (1999)* y *Changnon (2000)* entre otros. En general, según la Oficina de Programas Globales de la NOAA (citado por *WMO, 1998*), se estima que en la escala mundial el evento 1997-1998 generó pérdidas económicas cercanas a los 34000 millones de dólares estadounidenses, unos 24 mil muertos, 6 millones de desplazados y 111 millones de personas y aproximadamente 22 millones de hectáreas afectadas.

El evento de 1997-1998 trajo al Sudeste Asiático una drástica sequía, que a Indonesia le causó pérdidas estimadas en 4400 millones de dólares estadounidenses y en países como Bangladesh, además de las pérdidas económicas, exacerbó las condiciones de pobreza y presionó la migración de áreas rurales a las ciudades (*Hossain, 2007*). Esta misma sequía afectó considerablemente a Malasia (*Nakagawa y otros, 2000*). En Filipinas la sequía afectó la agricultura y la producción de hidroenergía (especialmente de las pequeñas centrales), que sumado a la crisis económica de Asia por esa época,

---

12 La más fuerte fue la asociada al evento de 1957-1958, que acentuó las condiciones secas predominantes entre finales de los 50s y finales de los 60s.

13 Sobre el inicio y desarrollo del fenómeno El Niño de 1997-1998 se presenta una descripción detallada en el capítulo 9.

trajo en conjunto al país, un descenso en el PIB nacional, que estaba en crecimiento sostenido en los anteriores cinco años con valores por encima de 5%, y los redujo a valores cercanos a 1%, en 1998 (*Jeguillos y otros, 2000*). En Vietnam, la sequía que duró cerca de 8 meses, llevó a un estado crítico de hambre a cerca de 4000 personas, en el sector central y montañosos del país (*Ninh y Kelly, 2000*). En Indonesia, las condiciones de sequía continuaron en octubre-noviembre de 1997, lo cual aumentó el número de incendios forestales que son frecuentes hasta septiembre; la magnitud de los incendios dispersó humo en una amplia área y tanto en este país, como en Brunei y Filipinas, la niebla generada afectó la salud humana y condujo al cierre de aeropuertos (*Sirabaha y Caesar, 2000*). Esta sequía afectó drásticamente a Papua, Nueva Guinea. En Burma (antigua Birmania o, actualmente, Unión de Myanmar), por el contrario, las intensas lluvias generaron inundaciones que afectaron a más de dos millones de personas y empujaron a cerca 500.000 personas a dejar sus casas. En *UNEP/NCAR/UNU/WMO/ISDR (2000)* es posible encontrar en detalle los impactos del evento de 1997-1998 en otros países de Asia y África.

A otras regiones del planeta, el fenómeno El Niño 1997-1998, llevó a condiciones contrarias: lluvias fuertes, eventos torrenciales (crecientes súbitas, desbordamientos y deslizamientos) e inundaciones. En la costa de Ecuador y Perú, por ejemplo, este tipo de eventos extremos afectaron población e infraestructura con grandes pérdidas; en la parte andina, particularmente en el altiplano, estos países tuvieron serias dificultades por el déficit de precipitación.

Un resumen de los impactos en los países de la Comunidad Andina de Naciones se presenta en los documentos *Corporación Andina de Fomento (2000)* y *Meerhoff (2008)*. La magnitud de los daños ocasionados por el último fenómeno intenso de El Niño, ocurrido en 1997-1998, fue estimada por la Corporación Andina de Fomento – CAF, empleando la metodología desarrollada por la CEPAL, cuyas conclusiones más importantes aparecen resumidas en la Tabla 7.2, donde se presentan las pérdidas económicas causadas por el fenómeno en los países Andinos (*Corporación Andina de Fomento, 2000*). En la Figura 7.2 se presenta el efecto negativo que este evento extremo produjo en el PIB y el crecimiento económico.

En los Estados Unidos de América el impacto económico de las anomalías climáticas asociadas al evento El Niño de 1997-1998 alcanzó los 25 000 millones de dólares estadounidenses. Un análisis detallado del impacto del fenómeno El Niño de 1997-1998 en los Estados Unidos, considera que las condiciones generadas por dicho evento, llevaron tanto ganancias como pérdidas, a diferentes regiones y sectores económicos de ese país y que, en balance, se podría haber obtenido un beneficio económico de la combinación de situaciones positivas y negativas. Se menciona, por ejemplo, que debido al invierno anormalmente cálido de ese año en el Medio Oeste, los supermercados aumentaron las ventas entre un 5 y un 15%, pero las ventas de

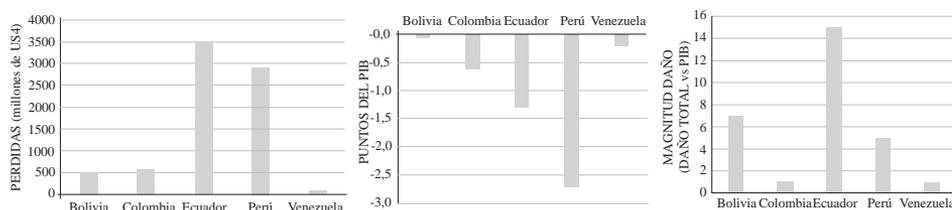
**Tabla 7.2.** Estimación de las pérdidas (en millones de dólares estadounidenses) generadas por el evento El Niño 1997-1998 en los países de la Comunidad Andina según la CEPAL. (Tomado de Corporación Andina de Fomento, 2000).

	<b>Bolivia</b>	<b>Colombia</b>	<b>Ecuador</b>	<b>Perú</b>	<b>Venezuela</b>
Sector y Subsector					
Sectores Sociales	5,3	96,7	204,7	486	2,6
Vivienda	5,3	52,3	152,6	223	0
Salud			18,8	35	0
Educación			33,3	228	0
Incendios forestales			0	0	2,6
Servicios	10,4	309,5	35,6	137	27,8
Agua y saneamiento	9	1,8	16,7	71	10,8
Hidrocarburos			1,8	0	17
Generación Eléctrica	1,4	307,7	17,1	66	0
Transporte	10,4	309,5	35,6	137	27,8
Marítimo		2	0	0	0
Fluvial		3,9	0	0	2,3
Vial	236,6	0	785,1	686	0
Urbano		0	7,8	0	0
Telecomunicaciones		0	1	0	0
Ferrocarriles	1,1	0	0,7	32	0
Sectores productivos	261,5	148,6	1515,9	1626	38,6
Agropecuario	118,6	101,1	1201,6	612	30,1
Industria	58,2	6,5	165,7	675	3,9
Pesca	0	0	42,4	26	0
Minería				44	
Turismo	0	0	70	0	0
Comercio	84,7	41	36,2	269	4,6
Infraestructura gubernamental				58	0
Prevención emergencias	12,3	2,8	331	376	0
<b>Total Nacional</b>	<b>527,2</b>	<b>563,5</b>	<b>2881,8</b>	<b>3401</b>	<b>71,3</b>

los equipos de invierno cayeron hasta en 35%; los ingresos relativos a esparcimiento de invierno como el ski, se redujeron en esta región mientras que aumentaron en el Oeste; la industria y los hogares redujeron sus gastos para calefacción, pero las empresas generadoras de energía redujeron sus ingresos, debido a la disminución de la demanda. A California El Niño 1997-1998 trajo tormentas intensas e inundaciones que generaron cerca de 1100 millones de pérdidas en bienes y servicios, a pesar de

la preparación de la Federal Emergency Agency (FEMA); pero, si bien estos eventos se incrementaron en esa región, la temporada de huracanes que afecta al Golfo de México y el Caribe, durante ese año, trajo menor número de eventos de lo que usualmente ocurren, situación que redujo las pérdidas por estos eventos en el Este de los Estados Unidos. *Changnon (2000)*, basado en las estadísticas anteriores, afirma que el evento de 1997-1998, fue más benéfico que negativo para la economía de los Estados Unidos.

El análisis detallado del evento El Niño 1997-1998 y su efecto en los Estados Unidos de América, demuestra que los impactos de este fenómeno no son siempre negativos, ya que las condiciones generadas pueden ser adversas para algunas regiones pero favorables para otras o también, situaciones adversas para un sector socioeconómico, pueden ser favorables para otro o para alguno de los actores (productores, intermediarios, consumidores), dentro de un mismo sector. Otro ejemplo de los beneficios obtenidos de las condiciones generadas por el fenómeno El Niño lo indica *Arntz (1996)*, quien menciona que las abundantes lluvias que caen sobre las extensas áreas desérticas de Perú durante los fenómenos El Niño, conducen a la proliferación de la vegetación que, en algunas ocasiones, durante El Niño 1982-83, por ejemplo, llevan al “floreamiento del desierto, permitiendo a los colonos criar ganados, ovejas y cabras; tal parece que algunas semillas sobreviven en el desierto durante muchos años, mientras llegan las lluvias torrenciales de un Niño fuerte o intenso, que desencadenen el proceso.



**Figura 7.2.** El efecto del fenómeno El Niño 1997-1998 en la economía de los países de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), mirado a través de las pérdidas (izquierda) en millones de dólares, de los efectos en el crecimiento económico (centro) y de los daños respecto al PIB de cada uno de los países (derecha). (Elaborado con base en información de CEPAL, 1999).

Uno de los impactos más destacados de las anomalías climáticas que se ha registrado en todos los eventos El Niño documentados, es el que se produce en la salud humana (*Nichols, 1991; Hales y otros, 1999; Poveda y otros, 2000*). Hay diversos estudios que muestran la conexión entre estas anomalías y brotes de hanta virus (*Engelthaler y otros, 1999; Hjelle y Glass, 2000; Jaksic, 2001*), malaria (*Nichols, 1993; Bouma y Dye, 1997; Poveda y Rojas, 1997; Gagnon y otros, 2000; Delgado, 2004; Poveda y*

otros, 2001), dengue (*Seghal, 1996; Gagnon y otros, 2002*), leishmaniasis (*Franke y otros, 2002;*) y cólera (*WHO, 1998*).

Hasta este punto, la atención se ha centrado en los impactos de las condiciones cálidas del Pacífico tropical, pero veamos los impactos de la fase opuesta, tomando como ejemplo lo observado en los eventos ocurridos desde el de 1988-1989. Hasta los años 90s del siglo XX, La Niña no se analizaba como un fenómeno, a pesar de lo ocurrido en los eventos de 1984 y 1988-1989 y anteriores. Se prestó una mayor atención a finales de 1998, ante el evento 1999-2000 e inclusive en junio de 1998, se desarrolló un encuentro especial para analizar el tema del fenómeno La Niña, en el National Center for Atmospheric Research (NCAR), en Boulder Colorado (ver *Glantz, 2000*).

Las condiciones frías del Pacífico tropical, asociadas al fenómeno de La Niña de 1988-1989, generaron una intensa sequía, que azotó al Medio Oeste y las Grandes Planicies de Norteamérica en el verano de 1988, la cual, según diversos cálculos, generó pérdidas estimadas en cerca de 40 000 millones de dólares estadounidenses.

El enfriamiento que siguió al evento El Niño de 1997-1998, que condujo al evento La Niña de 1999-2001, trajo a Bangladesh una gran inundación que se prolongó por varios meses, cubriendo hasta el 51% del territorio continental y afectando a cerca de 31 millones de personas (un poco más del 25% de la población). En este desastre se perdió cerca del 6.5% del PIB nacional, hecho que retrasó considerablemente el ritmo de desarrollo de este país (*Hossain, 2007*). Para el Sudeste Asiático (Vietnam, Laos PR, Myanmar, Malasia y Camboya), los impactos del fenómeno La Niña están más asociados a las lluvias fuertes e inundaciones provocadas por la intensificación del monzón; también por la mayor frecuencia o intensidad de los ciclones tropicales, particularmente de los tifones (*Sirabaha y Caesar, 2000*).

Igualmente, la ocurrencia de eventos La Niña induce una mayor frecuencia o intensidad de los huracanes en la región del Mar Caribe y Golfo de México, afectando los países de la cuenca del Caribe, centro América y los Estados Unidos. Es así como los huracanes más recordados por sus impactos negativos, han ocurrido bajo condiciones La Niña. En 1988, el huracán Joan generó cuantiosos daños y víctimas en los países centroamericanos y caribeños; en 1999 se desarrolló el huracán Mitch, que en Nicaragua, Honduras y Guatemala produjo aproximadamente 7000 muertos y daños a la infraestructura, que estos países demorarán años en reconstruir. En el año 2005 se registró el huracán Katrina, que afectó catastróficamente los estados norteamericanos de Louisiana y Misisipi; en la capital del primero, el Katrina destruyó infraestructura e inundó totalmente la ciudad. Claro que los daños o pérdidas son causados por los ciclones tropicales, no por el fenómeno La Niña directamente. Sin embargo, en condiciones La Niña se incrementa la frecuencia de estos eventos extremos. Según *Pielke y Landsea (2002)*, en años de fenómeno de La Niña, aumentan las pérdidas

por el impacto de las tormentas tropicales, en comparación con lo que ocurre en años normales y bajo condiciones El Niño.

Lo expuesto anteriormente, son solo algunos ejemplos documentados sobre las diversas formas de impacto de los fenómenos de El Niño y de La Niña. La lista podría ser mayor, dada la gran cantidad de publicaciones que muestran las diversas formas y la magnitud del impacto de estos fenómenos; no obstante, este capítulo solo pretende dar una mirada general y sintética al tema.

## Referencias Bibliográficas

- Arnst W.E., Fahrbach E., 1996: El Niño, experimento climático de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México D.F., México. 312p.
- BCRP (Banco Central de la Reserva Peruana, 1983: Memorias.
- Binford, M., A. Kolata, M. Brenner, J. Janusek, M. Seddon, M. Abbott, and J. Curtis. 1997. Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization. *Quaternary Research*, 47, pp. 235–248.
- Bouma J., Dye M.C., 1997: Cycles of Malaria Associated With El Niño in Venezuela. *JAMA*. v. 278, pp: 1772-1774.
- Brown L.R., 2009: Could Food Shortages Bring Down Civilization? *Scientific American*, v. 300 (5), pp. 38-45.
- Burger R.L., 2003: El Niño, Early Peruvian Civilization, and Human Agency: Some Thoughts from the Luren Valley. In: *Fieldiana*, New Series, No.43, “El Niño in Perú: biology and Culture over 10,000 years” (Haas J. and Dillon M.O (Editors). Field Museum of Natural History, Chicago. Pp. 90-107
- Caviedes C.N., 2001: El Niño in history. *Storming Through the Ages*. University Press of Florida. Gainesville, FL, 279 p.
- Corporación Andina de Fomento, 2000. Las lecciones de El Niño 1997-1998. Memorias del fenómeno El Niño 1997-1998, retos y propuestas para la región Andina. Cinco volúmenes: Bolivia 288 p., Colombia 242 p., Ecuador 312 p., Perú 296 p. y Venezuela 248 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), 1983: Ecuador: Evaluación de los efectos de las inundaciones de 1982–1993 sobre el desarrollo económico y social, marzo de 1983.
- Couper-Johnston R., 2000: El Niño The Weather Phenomenon that Changed the World. Hodder and Stoughton. London. 354 p.
- Changnon S.A. (Edt), 2000: El Niño 1997-1998: The Climate Event of the Century. Oxford University Press, Inc. New York. 215 p.
- Davies M., 2001: Late Victorian Holocausts: El Niño Famines and the Making of the Third World, New York: Verso Books.

- Davies M., 2006: Holocaustos de la era victoriana tardía: El Niño, las hambrunas y la formación del tercer mundo. (Versión en español de la obra original ingles). Publicado por la Universidad de Valencia, España. 445 p.
- Delgado L, Córdova K, Rodríguez AJ., 2004: Epidemiological Impact of Climatic Variation on Malaria Dynamics in a Northeastern Region of Venezuela. *International Journal of Infectious Diseases*; 8 (Suppl 1): S23-S24.
- Diaz H.F., Markgraf V., (Eds) 1992: El Niño: Hystorical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press Archive. 476 p.
- Eltahir E.A.B., 1996: El Niño and the natural variability in the flow of the Nile River. *Water Resources Research*, v. 32, No. 1, pp. 131-137.
- Engelthaler DM, Mosley DG, Cheek JE, Levy CE, Komatsu KK, Ettestad P, Davis T, Tanda DT, Miller L, Frampton JW, et al., 1999: Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerg Infect Dis*, V. 5, pp.87-94.
- Fagan B.M., 2000: Floods Famines and Emperors: El Niño and the Fate of Civilization, London: Pimlico.
- Franke C, Ziller M, Staubach Ch, Latif M., 2002: Impact of El Niño/Southern Oscillation on Visceral Leishmaniasis, Brasil. *Emerg Infect Dis.*, v. 8 (9), pp. 914-917.
- Gagnon AS, Bush ABG, Smoyer-Tomic KE., 2000: Dengue epidemics and the El Nino Southern Oscillation. *Climate Research*. v.19, pp.:35-43.
- Gagnon AS, Smoyer-Tomic KE, Bush ABG., 2002: The El Niño southern oscillation and malaria epidemics in South America. *Int J Biometereol*, v.46 pp.:81-89.
- Glantz M.H., (Editor), 2002: La Niña and its impacts: facts and speculation. United Nations University Press, Tokyo-New York-París, 271 p.
- Hales S, Weinstein P, Souares Y, Woodward A., 1999: El Niño and the dynamics of vector-borne disease transmission. *Environ Health Perspect* v. 107, pp: 99-102.
- Haug G.H., 2005: Climate and the Collapse of Maya Civilization. *American Scientist*. V. 93, No. 4, p. 322.
- Haug G.H., Detlaf G., Peterson L.C., Sigman D.M., Hughen K.A., Aeschlimann G., 2003: Climate and the collapse of Maya Civilization. *Science*, v. 299 pp. 1731-1735.
- Hjelle B., Glass G.E., 2000. Outbreak of Hantavirus infection in the Four Corner Region of the United States in the Wake of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation. *J. Infect. Dis*. V. 181, pp: 1569-1573.
- Hossain E., 2007: Bangladesh Country Case Study: Impacts and Responses to the 1997-98 El Niño Event. Texto en la página Web de UCAR “Reducing the Impact of Environmental Emergencies through Early Warning and Preparadness. The Case Study of El Niño

- Southern Oscillation (ENSO)” URL <http://www.ccb.ucar.edu/un/bangladesh.html>. Consultado en diciembre de 2008.
- IDEAM (1997). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el período 1997 - 1998 en Colombia, 72 pp. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.
- Jaksic F. M. 2001. Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. *Ecography*. V. 24, pp: 241-250.
- Jeguillos S.R., de Guzman M., Jose A.M., Perez R.T., Carpio F., Mallari E., Villadolid-Pavia T., 2000: Philippines Country Case Study: Impacts and Responses to the 1997-98 El Niño Event. En: *Reducing the Impacts of Environmental Emergencies Through Early Warning and Preparedness. The Case Study of 1997-98 El Niño (A UNEP/NCAR/UNU/WMO/ISDR Assessment)*, versión electrónica disponible en: <http://www.unu.edu/env/govern/EINIno/CountryReports/index.html>.
- Keefer D.K., Moseley M.E., 2004: Southern Peru Desert Shattered by the Great 2001 Earthquake: Implications for Paleoseismic and Paleo-El Niño-Southern Oscillation Records. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 101, No. 30 (Jul. 27, 2004), pp. 10878-10883.
- Kerr, R.A., 1999: El Niño grew strong as cultures were born. *Science*, Vol. 283, Issue 5401, pp. 467-468.
- Kovats S.I., 2000: El Niño and human health. *Bulletin of World Health Organization*. v. 78 (9), pp.1127-1135.
- Li C., 1990: Interaction between Anomalous Winter Monsoon in East Asia and El Niño Events. *Advances in Atmospheric Sciences*, v.7, No.1, pp. 36-46.r
- Magilligan, F. J., and P. S. Goldstein. 2001. El Niño floods and culture change: A late Holocene flood history for the Rio Moquegua, southern Peru. *Geology*, v. 29, pp. 431–34.
- Meerhoff E., 2008: Análisis de los impactos causados por el fenómeno meteorológico El Niño 1997-1998 a escala regional y por países. Informe de Pasantía PHI-LAC UNESCO. 55 páginas (versión electrónica en <http://www.unesco.org/phi/biblioteca/bitstream/123456789/468/1/el+ni%C3%B1o+1998-2.pdf> consultada en febrero 2009).
- Messenger Jr. L.C., 2002: Los mayas y El Niño: Paleoclimatic Correlations, environmental dynamics, and Cultural Implications for the Ancient Maya. *Ancient Mesoamérica* (Cambridge Journals), v.13, No.1, pp. 159-170.
- Moran J.M., Morgan M.D., 1994: *Meteorology: the Atmosphere and the Science of the Weather*. Fourth Edition. McMillan College Publishing Company. New York. 517 p.
- Nakagawa M., Tanaka K., Nakashizuka T., Ohkubo T., Kato T., Maeda T., Sato K., Miguchi H., Nagamasu H., Ogino K., Teo S., Abang Ab. H., Lee H.S., 2000: Impact of severe drought associated with the 1997-1998 El Niño in a tropical forest in Sarawak. *Journal of Tropical Ecology*, vol. 16, N°3, pp. 355-367.

- Nicholls N., 1993: El Niño-Southern Oscillation and vectorborne disease. *The Lancet* v.342, pp: 1284-1285.
- Ninh N.H., Kelly M., 2000: The Impact of El Niño and la Niña on Southeast Asia: the human dimension, policy lessons and implications for global change. Final Report of an Indochina Global Change Network Project. Asia-Pacific Network for Global Change Research. Hanoi (Vietnam)-Norwich (UK), 106 p.
- Pielke .R.A., Landsea C.,W., 2002: En: Glantz M.H., (Editor), 2002: La Niña and its impacts: facts and speculation. United Nations University Press, Tokyo-New York-Paris, 271 p. pp. 119-123.
- Poveda G, Rojas W, Quiñones ML, Vélez ID, Mantilla RI, Ruíz D et al., 2001: Coupling between annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia. *Environ Health Perspec*, v. 5, pp. 489-493.
- Poveda G., Rojas W., 1997: Evidencias de la asociación entre botes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, v. 21 (81), pp. 421-429.
- Poveda G, Graham NE, Epstein PR, Rojas W, Quiñones ML, Vélez ID et al., 2000: Climate and ENSO variability associated with vectorborne diseases in Colombia. En: Poveda G, Graham NE, Epstein PR, Rojas W, Quiñones ML, Vélez ID, Martens W, editors. *El Niño and the southern oscillation, multiscale variability and global and regional impacts*. First edition. London: Cambridge University Press; 2000.
- Pozorski T., Pozorski S., 2003: The Impact of the El Niño Phenomenon on Prehistoric Chimú Irrigation Systems of the Peruvian coast. In: *Fieldiana*, New Series, No.43, “El Niño in Perú: Biology and Culture over 10,000 years” (Haas J. and Dillon M.O (Editors). Field Museum of Natural History, Chicago. Pp. 71-89.
- Quinn W.H., 1992: A study of the Southern Oscillation – related climatic activity of A.D. 622-1900 incorporating Nile river flood data. En: *El Niño: Hystorical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation* (Diaz H.F., Markgraf V., (Edts) 1992: *El Niño: Hystorical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*, 476 p), pp. 119-150.
- Rasmusson E.M., Carpenter T.H., 1983: The relationship between eastern equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka, *Monthly Weather Review*, **111**, 517-528.
- Shukla J., Paolino D.A.,1983: The southern Oscillation and long range forecasting of the summer monsoon rainfall over India, *Mon. Waether Rev.*, **115**, 695-703.
- Sandweis D.H., Shady R., Moselesy M.E., Keefer D.K., Ortloff Ch.R., 2009:Environmental change and economic development in coastal Perú between 5,800 and 3,600 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Early Edition, January 21, 2009. 5 p.
- Seghal R.1996: Dengue fever and El Niño. *The Lancet*, v. 349 (9053), pp. 729-730.

- Sirabaha S., Caesar J., 2000: Significance of the El Niño - Southern Oscillation for Southeast Asia. En: Ninh N.H., Kelly M., 2000: The Impact of El Niño and la Niña on Southeast Asia: the human dimension, policy lessons and implications for global change. Final Report of an Indochina Global Change Network Project. Asia-Pacific Network for Global Change Research. Hanoi (Vietnam)-Norwich (UK), 106 p.
- UNEP/NCAR/UNU/WMO/ISDR, 2000: The Impacts of Environmental Emergencies Through Early Warning and Preparedness. The Case Study of 1997-98 El Niño. Documento disponible en: <http://www.unu.edu/env/govern/EINIno/CountryReports/index.html>
- UNEP/GRID-Arendal, 2005: 'Climate impacts of El Niño Phenomenon in Latin America and the Caribbean', UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library. [http://maps.grida.no/go/graphic/climate\\_impacts\\_of\\_el\\_ni\\_o\\_phenomenon\\_in\\_latin\\_america\\_and\\_the\\_caribbean](http://maps.grida.no/go/graphic/climate_impacts_of_el_ni_o_phenomenon_in_latin_america_and_the_caribbean)
- Wang G., Eltahir E.A.B., 1999: Use of ENSO information in Medium and Long- Range forecasting of the Nile Floods, *Journal of Climate*, **12**(6), 1726– 1737.
- Whitaker D.W., Wasimi S.A., Islam S., 2001: The El Nino Southern Oscillation and long-range forecasting of flows in the Ganges, *International Journal of Climatology*, **21**, 77–87.
- WHO, 1998: Cholera y El Niño, WHO statement - Latin America. Programa para el seguimiento de Enfermedades Emergentes ProMED Mail.
- WMO, 1998: The 1997-98 El Niño event in brief. World Meteorological Organization. Geneva, Swizerland, 8 p.
- WMO, 1999: The 1997-1998 El Niño event: A scientific and technical retrospective. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland, 96 p.

CAPÍTULO 8  
EFECTO DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO - LA NIÑA -  
OSCILACIÓN DEL SUR EN COLOMBIA

En los capítulos anteriores se ha señalado cómo las fases extremas del ciclo El Niño – La Niña - Oscilación del Sur inducen anomalías climáticas que impactan considerablemente los ecosistemas y los sistemas humanos en diferentes partes del mundo. Resulta de interés práctico dar una mirada detallada a la expresión del efecto climático de estos fenómenos en una región específica, como el territorio colombiano.

El tema relacionado con los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos en el país se comenzó a explorar en el decenio de los 80s del siglo XX, lo que se puede constatar con la primera publicación que sobre esta materia apareció en Colombia (*Zea y Montealegre, 1987*). Desde esa época, investigadores de diversos grupos de universidades colombianas y de otras instituciones, financiados tanto por fondos públicos como por entidades privadas, han desarrollado investigaciones sobre el ciclo ENOS y sobre la respuesta del clima nacional al mismo, así como estudios sobre los impactos sectoriales y regionales que tanto estos fenómenos como su efecto climático generan. Sin desconocer que hay muchos otros que tal vez se queden sin mencionar, merece destacar en particular los grupos de la Universidad Nacional de Colombia, tanto de la Sede-Bogotá (del Departamento de Geociencias y del Departamento de Geografía) como de la Sede-Medellín (Postgrado de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos) y de la Universidad del Valle en Cali (tanto en la Facultad de Ingeniería como en Biología), un grupo que trabajó durante el período de funcionamiento del HIMAT y del IDEAM y, el Centro de Control de Contaminación del Pacífico (CCCP) de la Dirección Marítima y Portuaria (DIMAR). Se debe reconocer también que empresas del sector privado han apoyado la investigación en el tema y que dentro de ellas sobresalen Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), la Federación de Productores de Caña de Azúcar, la Federación de Productores de Arroz (FEDEARROZ), la Federación de Productores de Palma (FEDEPALMA), la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), Federación de cultivadores de papa (FEDEPAPA), entre otras.

Con el apoyo de Colciencias y de otras instituciones gubernamentales, de fondos de investigación de las universidades, de la empresa privada y de organismos internacionales se ha desarrollado una intensa actividad investigativa en el tema, de

la cual hacen constancia una larga lista de trabajos, gracias a los cuales se dispone del conocimiento que se intenta resumir a continuación.

## **8.1. Los efectos en el ambiente marino y costero colombianos**

El territorio colombiano contiene una amplia zona marina localizada en el pacífico oriental, sector que tiene una influencia directa de los fenómenos de El Niño y de La Niña, con efectos notables tanto en la costa como en toda la extensa zona marítima.

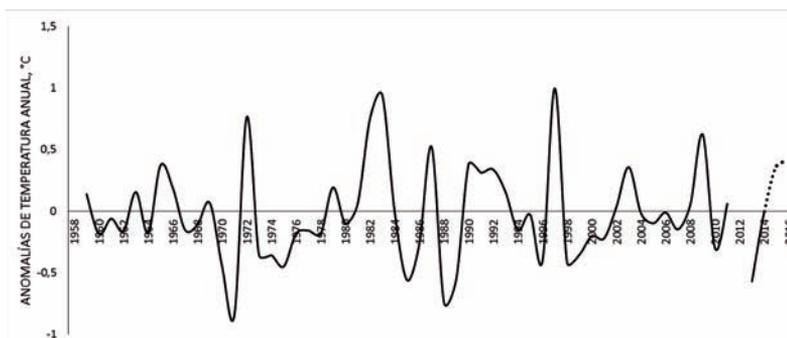
En el medio marino, ambos fenómenos traen cambios en la temperatura del agua y otras variables físicas (salinidad, densidad, corrientes) y, como ya se ha mencionado, producen alteración de las variables biológicas (productividad primaria, población de especies en determinada área, etc.) que de diversa manera afectan los ecosistemas marinos y costeros en el Pacífico colombiano, lo que repercute principalmente en la pesca. En la zona costera del Pacífico colombiano, los eventos El Niño igualmente traen como consecuencia el aumento del nivel medio del mar, lo que genera anegamientos o inundaciones de zonas bajas. Trabajos de investigación efectuados para esta región del territorio colombiano dan cuenta de los diferentes efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en el medio físico y biótico regional, los cuales se sintetizan a continuación.

### ***8.1.1. Efectos en la temperatura del mar***

Durante el fenómeno de El Niño, las aguas costeras del océano Pacífico colombiano, que usualmente tienen temperaturas entre 25 y 26°C, experimentan condiciones anómalamente cálidas, con registros entre 2 y 3°C por encima de los valores normales mencionados; en el período de ocurrencia del fenómeno La Niña, la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico colombiano, presenta disminuciones del orden de 1-2°C por debajo de los valores normales (*Peña y Mosquera, 1992; Pabón y Montealegre, 1992a; Mosquera y Gómez, 1993; Pineda, 1997; Camacho, 1998; Pineda, 2001; Pabón 2003; Devís, 2003; Cadena y otros, 2006*). En la Figura 8.1 se presenta la secuencia de anomalías de temperatura superficial del mar anual en Tumaco, lo que evidencia las alteraciones en la zona costera del sector sur de Pacífico Colombiano para el período 1959-2016; también se tienen evidencias de las anomalías que estos dos fenómenos producen en Buenaventura (ver *Pabón , 1990; 2003; Pineda, 1997*, entre otros).

El sector oceánico de la Cuenca del Pacífico colombiano tiene también una respuesta en su campo térmico ante los fenómenos de El Niño y de La Niña. Según *Pineda, 2001*, quien analizó el período 1996-1998, durante el fenómeno La Niña el enfriamiento de la superficie es más notorio en el sector sur; en el caso del fenómeno de El Niño, el calentamiento es más marcado en la parte sur de esta cuenca. Esta

distribución de las anomalías en el ámbito del Pacífico colombiano, igualmente reportadas en el análisis de *Camacho, 1998*, es generada por que los fenómenos extremos mencionados presentan su máxima expresión en la franja ecuatorial, la cual está localizada precisamente al sur de la cuenca.



**Figura 8.1.** *Secuencia de anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) promedio anual registrada en Tumaco durante el período 1959–2016. Los valores negativos destacados (por debajo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ ) corresponden a fenómenos de La Niña; los valores positivos notables (por encima de  $0,5^{\circ}\text{C}$ ) son la expresión local de los fenómenos de El Niño.*

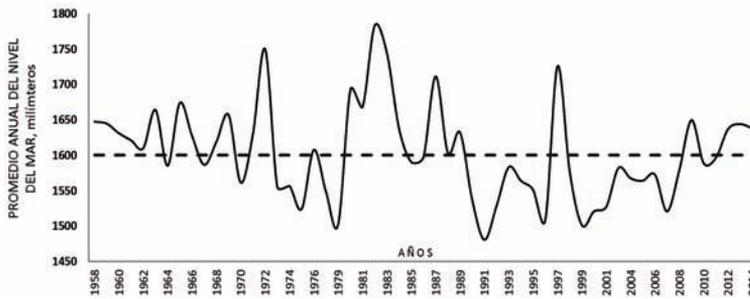
De igual manera se han identificado los efectos de los dos fenómenos en el perfil vertical de la temperatura. Los estudios de *Camacho, 1998* y *Pineda, 2001*, así como el de *Devis, 2003*, indican que durante El Niño ocurre una profundización de las isotermas superficiales (*Devis, 2003* menciona que la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  se ubica por debajo de los 100 metros), mientras que durante La Niña se presenta un ascenso y localización más cerca de la superficie. Esto consecuentemente tiene los mismos efectos en el espesor de la capa de mezcla y en la profundidad de la termoclina.

### 8.1.2. Efectos en el nivel medio del mar

Otro de los efectos físicos directos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en la costa Pacífica colombiana es la variación del nivel medio del mar (Figura 8.2): aumentos y disminuciones, respectivamente.

En eventos El Niño, en el sector ubicado entre Tumaco y Buenaventura, ocurren incrementos temporales (perduran por varios meses) del nivel medio del mar del orden de los 20-30 centímetros, los cuales están asociados con el arribo a la costa suramericana de la onda Kelvin ecuatorial; a lo largo de la costa también ocurren incrementos debido al desplazamiento de las ondas Kelvin costeras (*Pabón y Montealegre, 1992a*). Con un nivel medio del mar aumentado por efecto del fenómeno El Niño, las mareas y el oleaje alcanzan mayores alturas y se presenta invasión de aguas en las partes bajas de la playa, lo que afecta las poblaciones costeras.

Durante los eventos La Niña, el nivel medio del mar se reduce entre 10 y 20 centímetros (*Pabón y Montealegre, 1992a*), aunque según *Davis (2003)*, hay reducciones de hasta 25 centímetros.



**Figura 8.2.** Secuencia del promedio anual del nivel del mar (milímetros) en Tumaco, Colombia ( $01^{\circ} 48' N$ ,  $78^{\circ} 46' W$ ), durante el período 1958 – 2014. Los extremos destacados por encima del promedio (línea gris horizontal) están asociados a eventos El Niño y los extremos por debajo del promedio corresponden a la presencia del fenómeno La Niña.

### ***8.1.3. Efectos en la circulación oceánica del Pacífico colombiano***

Los fenómenos de El Niño y de La Niña inciden en los patrones de circulación oceánica regional, particularmente en la predominante sobre la cuenca del pacífico colombiano. Estudios realizados por *Pineda (1997)* establecieron que la corriente de Cromwell, que se centra normalmente cerca de los 100 metros de profundidad, es relativamente débil y más profunda (entre los 100 y 300 metros) en eventos El Niño, mientras que durante La Niña es más superficial (75 y 200 metros) y un tanto intensa en comparación con lo normal. Resultados similares fueron obtenidos para un área vecina, al suroccidente de la cuenca del Pacífico colombiano, por *Lucero y Cornejo (1990)*, analizando el evento El Niño 1982-1983 y la condiciones normales de 1985.

### ***8.1.4. Efectos en la salinidad y los nutrientes***

Las alteraciones que los fenómenos de El Niño y de La Niña producen en el medio marino del pacífico colombiano, también afectan la salinidad y los nutrientes contenidos en el agua marina de la región. *Pineda (1997)* estableció que la salinidad es relativamente mayor durante los eventos cálidos. De otra parte, *Devis (2003)* determinó que durante la presencia del fenómeno de La Niña se incrementan los nutrientes (nitritos, fosfatos, silicatos y amonio), lo que es atribuible al fortalecimiento de la surgencia y ascenso de la termoclina en Pacífico oriental; las condiciones generadas por El Niño disminuyen el contenido de nutrientes.

### **8.1.5. Efectos sobre el medio biótico y los ecosistemas marinos**

Las características físicas de las aguas marinas, alteradas bajo efectos de estos fenómenos, inciden en los procesos biológicos y en los ecosistemas de cuenca del Pacífico colombiano. Diversos estudios (*Constain y Delgado, 1985; Prahl, 1987; Peña y Mosquera, 1992; Castillo y Osorio, 1993; Castillo y Vizcaino, 1993; Suzunaga y Gómez, 1995; García-Hansen, 2001; Medina, 1998; García-Hansen y Malikov, 2003; Ramírez y otros, 2006; López y otros, 2007*), basados en el análisis de datos provenientes de mediciones en cruceros, describen las alteraciones que generan una u otra fase extrema en la productividad primaria. En general, los diferentes autores coinciden en los efectos que estos fenómenos ejercen sobre el fitoplancton. Se ha establecido que durante La Niña (aguas relativamente frías) se incrementa la población de diatomeas, mientras que en condiciones cálidas asociadas a El Niño, la población de éstas disminuye; para la población de dinoflagelados ocurre lo contrario (ver, por ejemplo, *García-Hansen y Malikov, 2003*).

Las variaciones en la productividad primaria generadas sobre el pacífico colombiano por los fenómenos de El Niño y de La Niña fueron analizadas siguiendo el comportamiento de la clorofila-a con ayuda de imágenes de color (pigmentación) generadas por el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) en los períodos octubre-diciembre de 1982, enero-marzo de 1983 y octubre-diciembre de 1983 y enero-marzo de 1985 (*Rojas y Pabón, 2000*), encontrando que diferentes sectores dentro de la misma región tienen respuesta opuesta a cada fase. Según la información de las imágenes, en el sector adyacente a la isla de Gorgona y al norte de ésta durante el evento El Niño de 1982-83 menor productividad que la observada bajo los efectos de La Niña 1984-1985; en el sector sur del Pacífico, durante el evento El Niño de 1982-1983, según las imágenes hubo mayor productividad neta que la que se registró en 1984-1985.

Los cambios en la población y localización del fitoplancton inciden directamente en el resto de la cadena trófica afectando la población y distribución de otras especies, por ejemplo el camarón (*Castillo y Vizcaino, 1993*). Igualmente se han reportado los efectos que estos fenómenos tienen en la piangua (*Borda y Cruz, 2004*) y en las almejas (*Riascos y Urban, 2002*). También se ha reportado blanqueamiento de los corales en la Isla de Gorgona, asociado a las condiciones cálidas extremas tipo El Niño (*Camacho, 1998*).

## **8.2. Los efectos en el clima del área continental**

La respuesta del clima de diferentes regiones de Colombia a los fenómenos de El Niño y de La Niña ha sido motivo de estudio de diferentes investigadores (*Ortiz y Ramírez, 1988; Pabón, 1990; Montealegre y Pabón, 1992a, b; Suzunaga y Gómez,*

1995; Montealegre, 1996; Poveda, 1996; Pabón y Montealegre, 1997; IDEAM, 1997; Mesa y otros, 1997; Carvajal y otros, 1998; Camacho, 1998; CAF, 2000; Pineda, 2001; Pabón 2003; Devis, 2003; Poveda et al., 1998; Pabón, 2003; IDEAM-DPAD, 2002; Poveda, 2004; Cadena y otros, 2006; Córdoba, 2007, Pabón y Torres, 2006, 2007; Fernández, 2008; Puertas y Carvajal, 2008, y muchos otros más). A continuación se hace una síntesis.

### **8.2.1. Efectos sobre la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra.**

Durante la influencia del fenómeno El Niño se incrementa la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. El predominio de tiempo seco favorece el aumento de horas de brillo solar en las regiones Andina y Caribe y por consiguiente de la cantidad de radiación solar incidente, la cual incluye la parte ultravioleta del espectro.

Bajo condiciones La Niña, las cantidades de brillo solar y radiación están, en términos generales, por debajo de los promedios, debido a la mayor frecuencia de cielos nublados.

### **8.2.2. Efectos en la temperatura del aire**

El estudio sobre las variaciones de la temperatura media mensual del aire en Colombia debidas al fenómeno de El Niño fue realizado por *Ortiz y Ramírez, 1988; Pabón y Montealegre, 1992b; Pabón, 1990*. En los mapas de la Figura 8.3 se presenta la distribución de estas anomalías, según lo establecido por *IDEAM, en 1997 y actualizado en 2007*. Como se puede apreciar, se registra un aumento generalizado de la temperatura media del aire en la mayor parte del territorio colombiano, el cual oscila entre 0.2°C y 0.5°C. Anomalías positivas, superiores a medio grado Celsius, se observan a lo largo de la región Andina, el centro y sur de la región Pacífica, el sector nororiental de la región Caribe y algunas áreas del piedemonte amazónico. En eventos fuertes o intensos de El Niño, las alteraciones pueden llegar a alcanzar valores cercanos a 2°C, especialmente al interior de los valles interandinos, la parte sur y nororiental de la región Andina y amplios sectores de las sabanas del Caribe.

También se ha establecido (*Pabón, 1990*) que bajo la influencia de fenómeno de El Niño, se incrementa la probabilidad de que, en las horas de la madrugada, las temperaturas descienden y alcancen valores cercanos o por debajo de los mínimos registrados hasta ahora. Debido a las condiciones relativamente secas de la región Andina asociadas con El Niño, se incrementa la probabilidad de ocurrencia de heladas durante los meses correspondientes a la temporada seca de diciembre-enero-febrero en los altiplanos nariñense, cundiboyacense y en las montañas de Antioquia y de los Santanderes.

Según lo observado en los eventos El Niño de 1991-1992 y 1997-1998, las temperaturas máximas (que se registran entre la 1 y 2 de la tarde) tienden a alcanzar sus valores más altos, a tal punto que muchos de los valores máximos absolutos de temperatura, se han registrado bajo condiciones de fenómenos de El Niño. Esto ha sido corroborado mediante el análisis efectuado por *Peña y otros (2001a, b)* para el valle del río Cauca, en el sector del departamento del Valle.

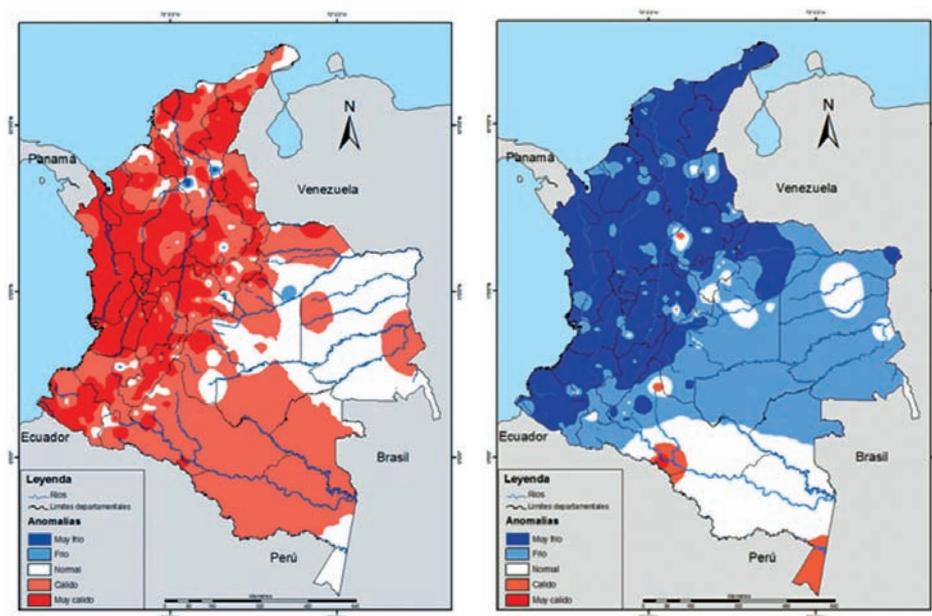
Durante los períodos de ocurrencia de los fenómenos de La Niña, se observan descensos en la temperatura media mensual del aire (figura 8.3), que varían entre 0.2°C y 0.5°C, en la mayor parte de la región Pacífica, el centro y sur de la región Andina, la parte central y nororiental de la región Caribe y la región del Catatumbo. Anomalías negativas superiores al medio grado Celsius se observan, en forma aislada, hacia el centro de la región Andina y en el extremo norte del departamento de la Guajira. Anomalías débiles y de sentido contrario se localizan muy puntualmente en áreas del piedemonte llanero. No obstante este descenso en las temperaturas medias, los valores mínimos no llegan a valores muy bajos y se reduce la frecuencia de heladas.

En un estudio realizado por *Puertas y Carvajal (2008)* se encontró una alta correlación entre las anomalías de TSM en el Pacífico central y la temperatura del aire. En general, corroboran lo observado en estudios anteriores (coeficientes de correlación positivos) pero establecen que la correlación es especialmente marcada en octubre-noviembre-diciembre y enero-febrero-marzo. En efecto, en el caso del fenómeno de El Niño, las máximas absolutas se han registrado en estos períodos del año.

### **8.2.3. Efectos en la precipitación**

A través de los trabajos de *Lessman y Eslava (1985)*; *Montealegre (1996)*; *Pabón y Montealegre (1997)*; *Poveda (1996)*; *Poveda y Mesa (1996b)*, *Puertas y Carvajal (2007)*, ha sido posible establecer la respuesta de la precipitación en diferentes regiones de Colombia a los eventos El Niño y La Niña. El efecto se resume en la Figura 8.1 en donde se presentan las anomalías de precipitación en términos de porcentaje de lo que normalmente se espera (valores promedio multianuales) en los volúmenes anuales.

Así, es ampliamente conocida la reducción de las lluvias (entre un 20% y un 60% de lo que usualmente se registra) que se presentan en las regiones Caribe y Andina bajo efectos del fenómeno El Niño; los sectores donde ocurren reducciones bastante acentuadas de las lluvias (volúmenes mensuales de precipitación menores en el 60% y más, comparados con los promedios históricos) son: los departamentos de Atlántico y la Guajira, el norte del Cesar, algunos municipios del norte de los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba, Santanderes y el altiplano cundiboyacense (ver figura 8.4, izquierda). En contraste, hay aumento moderado de las lluvias (volúmenes



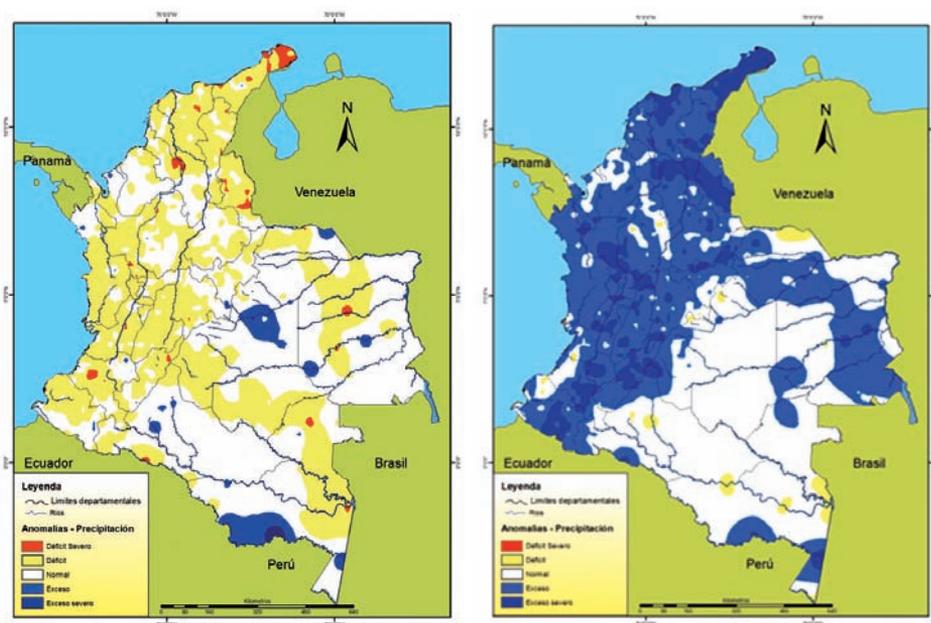
**Figura 8.3.** Anomalías de la temperatura media anual del aire observadas en el territorio de Colombia durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño (izquierda) o La Niña (derecha) típicos. (Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2007).

mensuales de precipitación superiores a los promedios históricos entre un 20% y un 60%) en el sector centro - occidental de la Amazonia, la parte media del piedemonte llanero y algunas áreas muy localizadas al nororiente de Caldas y el sector ubicado en los límites entre Norte de Santander y Boyacá; el incremento de las lluvias es muy marcado (volúmenes mensuales de precipitación superiores a lo normal en un 60%) en la parte sur del Pacífico colombiano (Cauca y Nariño).

En cuanto a eventos La Niña, en términos generales, se ha podido identificar que, cuando se presenta el fenómeno, hay un aumento moderado de las lluvias hacia la parte media del litoral Caribe, el departamento del Cesar, los sectores Central y sur de la región Andina y la región del Catatumbo. Se registran excesos de precipitación de carácter severo en algunas áreas de los departamentos de Quindío, Risaralda y Caldas, sur de Antioquia y de Bolívar, sector limítrofe entre el noroccidente de Valle y la parte media de Tolima, el occidente de Cundinamarca y la región del Catatumbo (ver figura 8.4, derecha). En el resto del territorio nacional, las precipitaciones presentan pequeñas anomalías con valores cercanos a lo normal.

Un análisis especial del caso de lluvias abundantes registradas en Colombia en el evento La Niña de 1970-1971 ha sido realizado por *Lessman y Eslava (1985)*;

en general los efectos del fenómeno La Niña en la precipitación en Colombia se documenta en *IDEAM (1998)* e *IDEAM (2007)*.



**Figura 8.4.** Anomalías de la precipitación anual observadas en el territorio de Colombia durante la ocurrencia de un fenómeno El Niño (izquierda) o La Niña (derecha) típicos. (Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2007).

De acuerdo con IDEAM (2011), el fenómeno de La Niña 2010-2011, tuvo una alta incidencia en el comportamiento hidroclimático del país. En la región Andina en particular, la mayoría de los meses del segundo semestre del 2010 presentaron lluvias excesivas; esta situación se agravó por los excesos de precipitación registrados en julio, considerados atípicos por ser esta una temporada normalmente de pocas lluvias.

### 8.3. Efectos sobre los niveles y caudales de los ríos y sobre la oferta hídrica natural

Diferentes autores (*Salazar, 1990; Rivera y Pabón, 1993; Poveda, 1994; Mesa y otros, 1997; Poveda, 1996; Poveda y Mesa, 1996; Carvajal y otros, 1998; IDEAM, 1997; Poveda y otros 1998; Jurado y Liebman, 2003*) han explorado la variabilidad de los niveles y caudales de los ríos colombianos y la relación de esta variabilidad con los fenómenos de El Niño y de La Niña. Gracias a estos estudios se ha podido establecer lo que a continuación se resume.

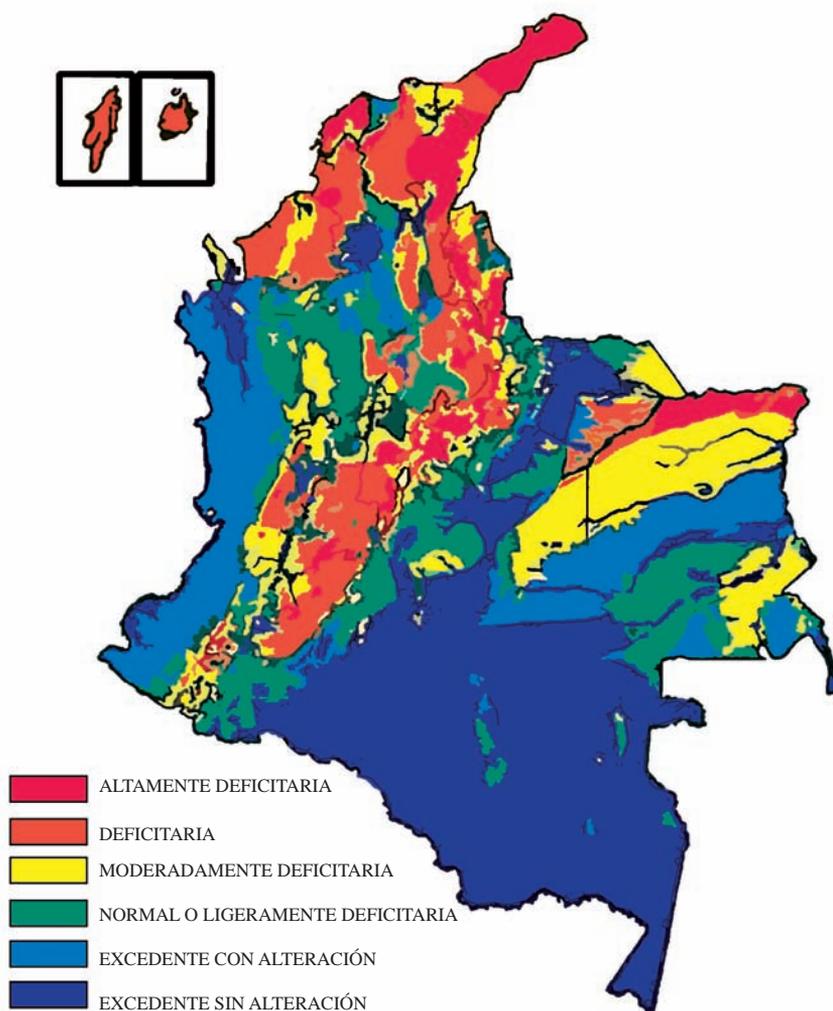
Durante el fenómeno de El Niño, debido a la reducción de la precipitación y el aumento de la evaporación y la evapotranspiración por efecto del aumento de la temperatura del aire, se produce una disminución en la disponibilidad hídrica en las diferentes regiones hidrográficas del país, la que en algunos casos puede alcanzar niveles extremadamente críticos (*IDEAM, 1997*). En algunas de estas regiones, tanto los caudales como los rendimientos hídricos, pueden tener disminuciones de más del 30%. El efecto es bastante marcado en aquellas áreas en las que normalmente el balance hídrico promedio es muy bajo (rendimientos inferiores a 2 Lts/s/km<sup>2</sup>) y bajo (rendimientos medios de 12 Lts/s/km<sup>2</sup>). Con la duración del efecto del fenómeno El Niño sobre las regiones, el déficit de precipitación y los caudales bajos, van tomando el grado de sequía tanto climatológica como hidrológica, lo cual impacta diversos sectores socioeconómicos de las regiones.

Una revisión de lo ocurrido en eventos El Niño en el pasado reciente (tres últimos decenios del siglo XX), permite establecer que la mayor afectación en los caudales corresponde a las cuencas de los ríos del departamento de La Guajira (que son por naturaleza escasos de agua), incluidos el Ranchería y el Cesar, los cuales pueden llegar a tener disminuciones promedios del 30 y 25% respectivamente. Los ríos Catatumbo y Patía presentan disminuciones mayores del 30%, así como el Micay y las cuencas aledañas. En la cuenca del río Cauca ocurren reducciones que oscilan entre el 4% en la parte más alta y el 20% en las partes media y baja. En las cuencas del Lebrija y Sogamoso (Chicamocha y Suárez) estas reducciones son mucho mayores.

Se debe mencionar que en la cuenca media del río Magdalena, el efecto del fenómeno de El Niño se expresa en reducciones de los caudales cercanas al 20%, en términos generales. No obstante, en algunos eventos El Niño (años 1877-1878 (*Aceituno y otros, 2009*), 1925-1926 (*Barrero, 2005*), 1941, 1991-1992, 1997-1998, 2009-2010 y 2014-2016) las disminuciones de los niveles y caudales fueron mayores en casi todos los sectores del río.

El déficit en los rendimientos hídricos que se registra en diferentes regiones del país bajo los efectos del fenómeno de El Niño, reducen considerablemente la oferta natural de agua para el abastecimiento de la población, la generación energía, los sistemas de riego para la agricultura y la navegación, entre otros. También hay que considerar que la disminución de los caudales trae como consecuencia una mayor concentración de sedimentos y contaminantes proveniente de diferentes fuentes, lo que limita aún más la disponibilidad del recurso para diferentes usos, por el deterioro de su calidad. La Figura 8.5 presenta las alteraciones de la oferta hídrica que generalmente ocurren bajo la influencia del fenómeno de El Niño.

El efecto del fenómeno de La Niña en los niveles y caudales de los ríos es inverso, aunque no simétricamente opuesto, al descrito para el fenómeno El Niño. El incremento generalizado de los volúmenes de lluvia que se registran en las regiones Andina y



**Figura 8.5.** Efectos de un fenómeno de El Niño típico sobre la oferta hídrica de diferentes regiones de Colombia (Tomado de IDEAM, 1997).

Caribe bajo la influencia del fenómeno La Niña, incrementan los caudales a tal punto, que se presentan desbordamientos e inundaciones. Los mayores inundaciones de las llanuras aluviales del Caribe (Sinú, Bajo Magdalena y Cauca), así como la del medio Cauca, ocurren bajo las condiciones generadas por el fenómeno de La Niña.

Es importante destacar que no en todos los eventos El Niño y La Niña los niveles y caudales de los ríos responden de manera notoria. Según *Jurado y Liebman (2003)* quienes analizaron básicamente eventos El Niño, al parecer solo los eventos extremos

más intensos en la temperatura superficial del mar del Pacífico tropical, son los que inducen alteraciones notorias en los patrones de distribución espacial y temporal de las variables hidrológicas en cuencas del territorio colombiano.

En el evento La Niña 2010-2011 los niveles de los ríos no bajaron, como comúnmente lo hacen en julio y agosto, por el contrario, siguieron ascendiendo, traslapándose con la segunda temporada lluviosa la cual también fue marcadamente excesiva, situación que conllevó a impactos socioeconómicos altamente desastrosos (IDEAM, 2011). Esta fase extrema de la variabilidad climática interanual tuvo una marcada influencia en el comportamiento de los niveles de los ríos Magdalena y Cauca, especialmente en sus partes medias y bajas. Durante “El Niño” 2009-2010, se registraron los niveles históricos más bajos, con problemas de desabastecimiento de agua en muchas poblaciones del país, y en tan solo seis a siete meses, ante la presencia de “La Niña” 2010-2011, se alcanzaron no solo las cotas de inundación, sino a su vez, los valores extremos más altos de la última década.

#### **8.4. Efectos sobre los suelos y la cobertura vegetal**

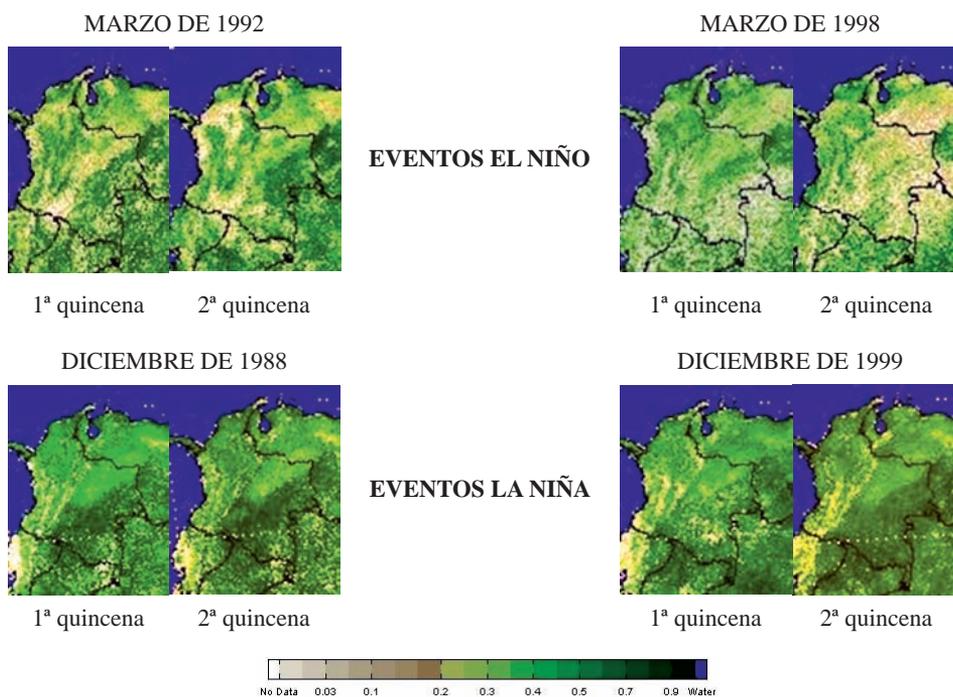
La reducción de la precipitación en la región Andina y Caribe, junto con el aumento de la evapotranspiración, propios del efecto de eventos El Niño propician la disminución del agua que alimenta el suelo, pudiendo llegar a un grado de sequedad extrema del mismo y de la cobertura vegetal. Esta última, en muchos casos se seca, en otros desaparece y deja al descubierto la capa de suelo, la cual queda expuesta a la acción directa de las primeras lluvias que ocurren al retornar la normalidad. Esta condición, dependiendo de la pendiente del terreno, facilita la erosión hídrica y la pérdida del suelo. De otra parte, bajo condiciones El Niño, el incremento de la precipitación en el piedemonte llanero, piedemonte amazónico y en el sector centro y sur de la vertiente Pacífica, conlleva a situaciones de sobresaturación de los suelos que facilita el desarrollo de eventos de remoción en masa en estos sectores.

Bajo los efectos del fenómeno de La Niña, los suelos en la región Andina, particularmente en los altiplanos (por la baja pendiente de los mismos) y de la región Caribe permanecen saturados de humedad; esto mismo ocurre en el norte de la región Pacífica, lo que sobresatura los normalmente suelos húmedos de la región. Por lo anterior, con el fenómeno de La Niña se asocian los eventos de remoción en masa registrados en las regiones mencionadas (ver *Sánchez, 2001*).

Las variaciones interanuales de la humedad del suelo inciden en la cobertura vegetal que lo cubre. El Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) es un indicador del estado de la cobertura vegetal en diferentes regiones, en lo que se refiere al stress hídrico. La Figura 8.6 presenta el NDVI sobre el territorio colombiano tal como se observaba en marzo del 1992 (al final del evento El Niño de 1991-1992), en

marzo de 1998 (al final del evento El Niño 1997-1998), en diciembre de 1988 (en el medio del evento La Niña de 1988-1999) y en diciembre de 1999 (evento La Niña 1999-2001). En esta composición es fácil detectar a simple vista el efecto de las dos fases extremas sobre la vegetación del país: bajo condiciones El Niño hay mayor área con vegetación seca o sin vegetación; bajo la influencia de La Niña se registra un notorio reverdecimiento de la cobertura vegetal.

En los dos eventos El Niño mostrados, el efecto sobre la vegetación fue más marcado en un sector de la región Caribe (departamentos Atlántico, Bolívar, Sucre y Córdoba) y en el norte de la región Pacífica, así como sectores de la región Andina y una vasta área de la Orinoquía.



**Figura 8.6.** Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) sobre el territorio colombiano para meses en los que existía la influencia de fenómeno de El Niño (arriba) o de La Niña (abajo). Las tonalidades del color verde indican presencia de vegetación, en tanto que las de color café indican vegetación seca o ausencia de vegetación. Extractado del Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS), set Suramérica, disponible en [http://satelite.cptec.inpe.br/ndvi/index\\_gimms.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/ndvi/index_gimms.jsp). La base GIMMS (Tucker at al., 2005) ha sido construida mediante procesamiento de los registros generados por el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) emplazado en los satélites NOAA (NOAA-11 entre noviembre/1988 - agosto/1994 y NOAA-14 entre enero/1995 - octubre/2000).

Así, en la región Andina y Caribe, bajo las condiciones de déficit de humedad en el suelo, la vegetación está sometida a stress hídrico y en muchas áreas se seca completamente, situación que a su vez, propicia los incendios de cobertura vegetal; las condiciones de exceso de humedad, por el contrario, saturan los suelos y facilitan los fenómenos de remoción en masa.

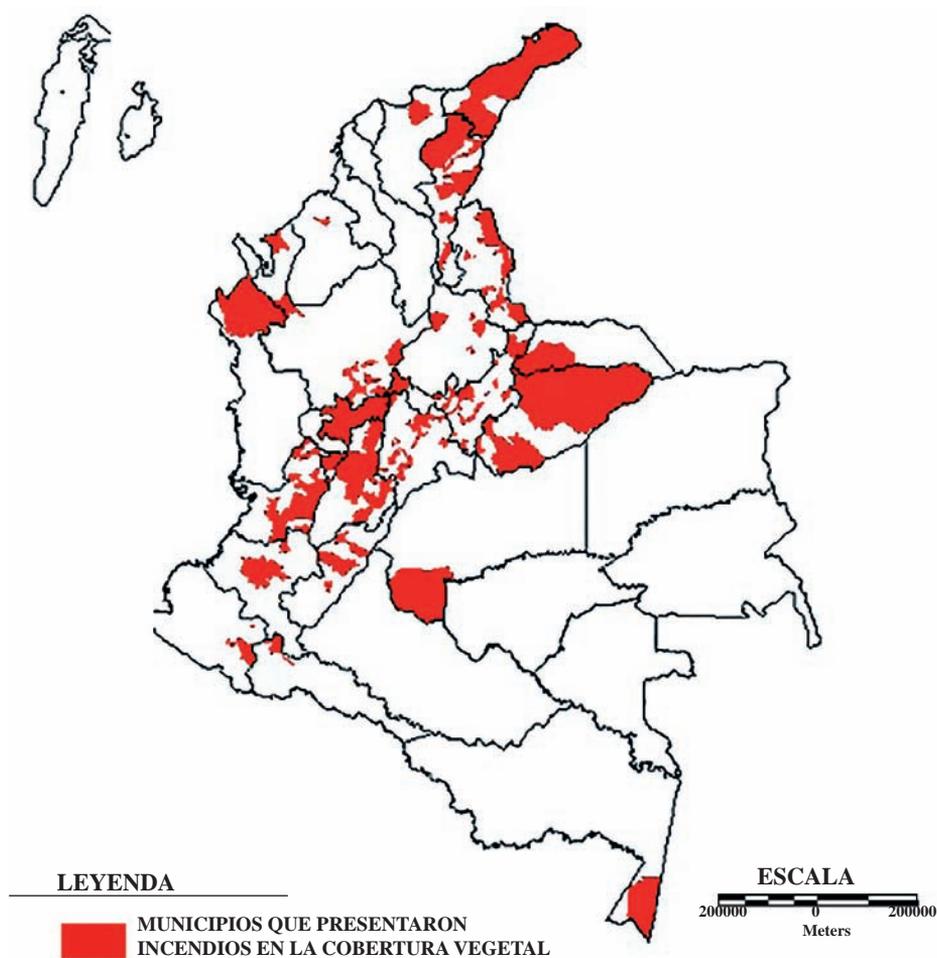
### **8.5. Efectos de los fenómenos de El Niño y de La Niña en la frecuencia de eventos extremos**

Las alteraciones climáticas que a través de la Oscilación del Sur generan los fenómenos de El Niño y de La Niña propician el desarrollo de fenómenos meteorológicos y climatológicos extremos en diferentes regiones del planeta, que en muchos casos conducen a situaciones de desastre.

Como se mencionó anteriormente, los fenómenos de El Niño y de La Niña inciden en la frecuencia de fenómenos meteorológicos, como las heladas y las oleadas de calor en diferentes regiones de Colombia. Bajo los efectos del fenómeno El Niño las temperaturas mínimas diarias (ocurren en la madrugada) en los altiplanos por encima de los 2500 msnm, disminuyen más que en zonas más bajas, lo cual incrementa la frecuencia de ocurrencia de heladas (ver Pabón, 1992). De otra parte, bajo estas mismas condiciones anómalas, las temperaturas máximas diarias aumentan (entre 1 y 2 de la tarde), haciendo más frecuente las oleadas de calor en diferentes regiones del país, pero particularmente notorias en el valle del Magdalena y en la región Caribe.

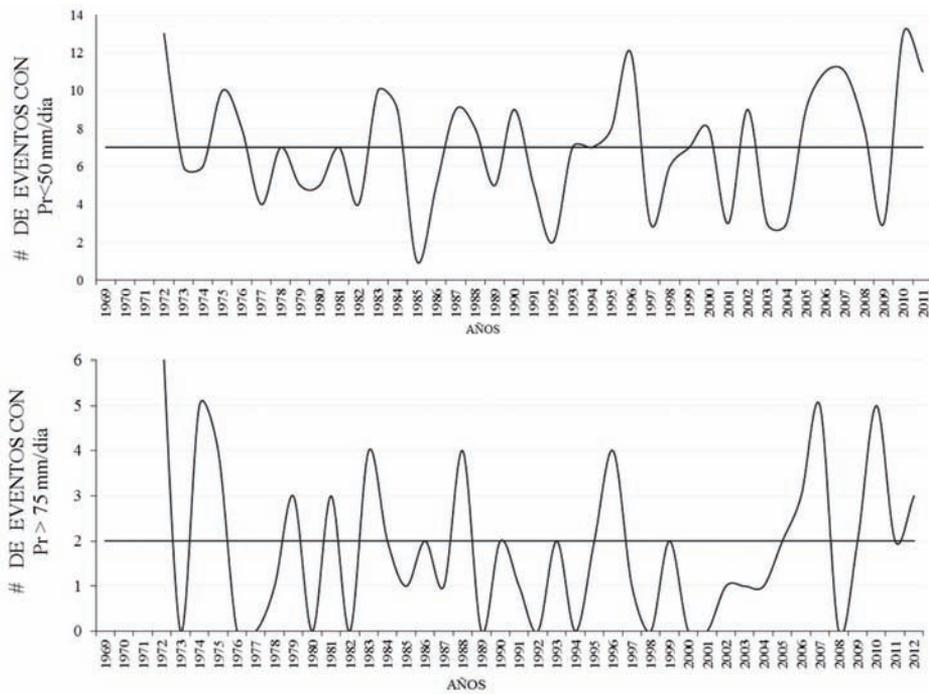
Igualmente, se ha detectado una relación muy estrecha entre la ocurrencia de eventos El Niño y las sequías que se presentan en el país (ver *Hurtado, 1996; Hurtado y Cadena, 2001*). Las condiciones secas del sistema suelo-cobertura vegetal facilitan la generación de incendios de bosques y matorrales, por ello las anomalías hidroclimáticas asociadas al fenómeno El Niño son condición en la que se incrementan los eventos incendios forestales. La Figura 8.7 muestra los municipios del país en los que hubo incendios forestales durante el evento El Niño de 1997-1998

De igual manera es posible observar un cambio en la frecuencia de otro tipo de eventos extremos, como se muestra en la Figura 8.8 donde se presenta gráficamente las secuencias del número anual de eventos extremos con precipitación diaria mayor de 50 mm y 75 mm registrados en una estación localizada en la cuenca alta del río Magdalena durante el período 1969-2012. Es posible constatar que para la región, bajo condiciones de El Niño se registran menos número de eventos al año que el promedio y durante La Niña, lo contrario: más eventos que el promedio. La relación de las fases del ciclo ENOS con la frecuencia de eventos extremos de lluvia ha sido también señalada por *Poveda y otros (2001)* para diversas regiones del país.



**Figura 8.7.** Municipios del territorio colombiano afectados por incendios de la cobertura vegetal durante el período marzo de 1997 y marzo de 1998. (FUENTE: IDEAM-DGPAD, 2002).

Las fases extremas de la variabilidad interanual de la precipitación asociadas a los fenómenos de El Niño y de La Niña regulan igualmente la ocurrencia de fenómenos como las crecientes súbitas, los desbordamientos y las inundaciones de corta y larga duración, así como los eventos de remoción en masa. Al dar una mirada a la historia de los desastres naturales más destacados en Colombia en un período de 30 años presentada por *Hermelín (2005:15)*, se puede constatar que de 19 eventos, 7 son de remoción en masa, torrenciales o avenidas o, inundaciones; de estos últimos, 4 (un poco más del 50%) ocurrieron bajo condiciones La Niña: deslizamiento de Quebradablanca (Cundinamarca) en 1974, las extraordinarias inundaciones y la actividad de huracanes de 1988, la avalancha de San Carlos (Antioquia) en 1990



**Figura 8.8.** Comportamiento del número anual de eventos con precipitación diaria mayor de 50 mm (arriba) y 75 mm (abajo) durante el período 1969-2012 para una estación localizada en la cuenca alta del río Magdalena. La línea azul horizontal representa los promedios anuales (en el caso de # eventos con  $Pr > 50$  mm/día el promedio es de 7 eventos al año; para el # de eventos con  $Pr > 75$  mm/día el promedio es de 2 eventos al año). (Elaborada con base en datos diarios de precipitación proporcionados por el IDEAM).

(año post-Niña), y, finalmente, la avenida torrencial de La Estrella (Antioquía) en el 2000. Además de los reportados por *Hermelín (2005)*, han sido documentados otros eventos de remoción en masa ocurridos en el evento La Niña 1999-2001 (*Sánchez, 2000*).

También están asociadas a los eventos La Niña, las inundaciones catastróficas recurrentes en el valle del río Cauca (departamentos de Cauca y Valle), del Medio-Bajo y Bajo Magdalena, del Sinú y San Jorge. *Hoyos y otros (2013)* realizaron un análisis de la magnitud del desastre por las inundaciones generadas por el fenómeno de La Niña 2010-2011 (sobre los impactos se tratará en el capítulo 9).

Es necesario mencionar que en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental y en los piedemontes amazónico y llanero, los eventos de remoción en masa son frecuentes bajo condiciones El Niño, lo cual históricamente ha causado desastres y ha

afectado las vías que conectan estas regiones con la parte interandina del país. Tal vez la inundación de Bagadó (Chocó) ocurrida en 1994 y reportada por *Hermelín (2005)*, corresponde a un año El Niño.

Los fenómenos de El Niño y de La Niña igualmente controlan la variabilidad interanual de la actividad de los ciclones tropicales. Esto afecta muy directamente la incidencia de las tormentas tropicales y de los huracanes sobre el territorio colombiano. Durante eventos El Niño estos fenómenos extremos prácticamente no se observan sobre el territorio (marítimo o costero) colombiano. Mientras que bajo la influencia de La Niña se ha registrado el paso de estos sistemas sobre la península de La Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta, el sector marítimo del Caribe colombiano y han afectado el Archipiélago de San Andrés y Providencia; tal es el caso del huracán Joan en 1988 (ver descripción en *Henríquez, 2005*) y del huracán Cesar en 1996, sistemas que se trasladaron muy al sur en el Caribe y afectaron directamente la parte continental e insular del país.

## Referencias Bibliográficas

- Aceituno P., Prieto M.P., Solari M.E., Martínez A., Poveda G., Falvey M., 2009: The 1877–1878 El Niño episode: associated impacts in South América. *Climate Change*, 92 (3-4), pp. 389-416.
- Barrero A., 2005: Análisis de la sequía histórica de 1925-1926. *Meteorología Colombiana*, No. 9, pp. 87-92.
- Borda C.A., Cruz R., 2004: Pesca artesanal de bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y su relación con eventos ambientales. *Pacífico Colombiano. Rev. Invest. Mar.* 25(3), pp.: 197-208.
- Cadena M.C., Devis A., Pabón J.D, Málikov I., Reyna-Moreno J.A., Ortiz J.R., 2006: Relationship between the 1997/1998 El Niño and 1999/2001 La Niña events and oil palm tree production in Tumaco, Southwestern Colombia. *Advances in Geosciences*, v. 6, pp.195-199.
- CAF, 2000: Las lecciones de El Niño. Memorias del fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y propuestas para la región Andina. V-III: Colombia. Corporación Andina de Fomento. Caracas. Ex Libris, 242 p.
- Camacho G.A., 1998: Seguimiento a la evolución de los eventos La Niña – El Niño – La Niña durante el período de Oct/96 – Oct/98 mediante la variación térmica de las masas de agua en la cuenca del Pacífico colombiano. *Boletín Científico del CCCP*, No. 7, pp. 50-55.
- Carvajal Y., Jiménez H., Materón H., 1998: Incidencia del fenómeno El Niño en la hidroclimatología del Valle del río Cauca, Colombia. En: Consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local. Incidencia en América del Sur (Cadier E., Gómez, G., Galárraga R., Fernández\_Jáuregui C. Editores). Consultado en la

- versión electrónica de la página Web <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/enso/carvajal.html>
- Castillo, F. y D. Osorio, 1993: Relación climatológica de la temperatura superficial del Pacífico colombiano sobre el fitoplancton marino durante el Niño 1991-1992. *Boletín Científico Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas*, CIOH. No. 14, pp: 131-144.
- Castillo F.A., Vizcaíno Z., 1993: Observación del fitoplancton del pacífico colombiano durante 1991-1992 en condiciones El Niño. *Bull. Inst. fr. études andines*. 22 (1), pp. 179-190.
- Constain L.F., Delgado L.F., 1985: Dinoflagelados del Pacífico colombiano como indicadores del fenómeno El Niño, Crucero P. VIII-ERFEN V, noviembre-diciembre/1982. Tesis de Grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 44 p.
- Córdoba S., 2007: Variabilidad climática interanual en el Pacífico colombiano. Tesis de maestría. Programa de Postgrado en Meteorología. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.
- Devis A, 2003: Condiciones oceanográficas y meteorológicas de la Bahía de Tumaco y su relación con eventos de escala global. *Boletín Científico CCCP*, No. 9, pp.1-21.
- Fernández M.E., 2008: Efecto del fenómeno El Niño en el agrosistema de papa y sus impactos socioeconómicos en los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá para el periodo de 1976-2006. Tesis de Maestría. Programa de Postgrado en Meteorología. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.
- García-Hansen I., 2001: Efectos de los eventos El Niño y La Niña sobre la comunidad de fitoplancton al interior de la ensenada de Tumaco. 1997-2000. *Boletín científico CCCP*, No. 8, pp. 15-21.
- García-Hansen I., Malikov I., 2003: Comportamiento de diatomeas y dinoflagelados en la Bahía de Tumaco bajo la influencia de cambios climáticos durante el período 1995-2000. *Boletín científico CCCP*, No. 9, pp. 15-21.
- García R., 1998: Caracterización de las fases pre-El Niño en el suroccidente de Colombia. En: Consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local. Incidencia en América del Sur (Cadier E., Gómez, G., Galárraga R., Fernández\_Jáuregui C. (Editores). Consultado en la versión electrónica de la página Web <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/enso/garcia.html> 30 octubre de 2010)
- Gil M.M., Quiceno N., Poveda G., 1998: El ciclo anual de la hidrología de Colombia en relación con el ENSO y la NAO. En: Consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local. Incidencia en América del Sur (Cadier E., Gómez, G., Galárraga R., Fernández\_Jáuregui C. Editores, INAMHI-ORSTON. Quito, 382 páginas), pp 187-200. Consultado en la versión electrónica de la página Web [http://www.unesco.org/uy/phi/libros/enso/poveda\\_ciclo.html](http://www.unesco.org/uy/phi/libros/enso/poveda_ciclo.html)
- Henríquez M., 2005: 1988: año de las grandes inundaciones. En: Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. (Hermelin M., Ed., 2005: Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. Universidad EAFIT, Medellín. 247 p), pp. 65-76.

- Hermelin M., 2005: Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. (Primera Edición). Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín. 247 p.
- Hoyos N., Escobar J., Restrepo J.C., Arango A.M., Ortiz J.C., 2013: Impact of 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: the human toll of an extreme weather even. *Applied Geography*, 39, pp. 16-25.
- Hurtado G., 1996: Estadísticas de la sequía meteorológica en Colombia. IV Congreso Colombiano de Meteorología. Bogotá, marzo de 1996.
- Hurtado G., Cadena M.C., 2001: Aplicación de índices de sequía en Colombia. *Meteorología Colombiana*, No. 5, pp.31-137.
- IDEAM, 1997: Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en el período 1997 - 1998 en Colombia, 72 pp. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.
- IDEAM, 1998: Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno Frío del Pacífico (La Niña) en Colombia en el segundo semestre de 1998 y primer semestre de 1999. Santa Fe de Bogotá, agosto-1998, 88 páginas + anexos.
- IDEAM-Montealegre J.E., 2007: Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. (Informe final del contrato No 063).
- IDEAM, 2011: Análisis del impacto del fenómeno “La Niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. En el sitio Web <http://institucional.ideam.gov.co>
- IDEAM-DPAD, 2002: Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Publicación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y de la Dirección para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá D.C., 52 p.
- Jurado J.L., Liebman B., 2003: Relaciones entre caudales mensuales en ríos de Colombia y las temperaturas superficiales del mar en la zona tropical. *Meteorología Colombiana*, 7, pp. 37-52.
- Lessman H., Eslava J., 1985: Las precipitaciones anormales ocurridas en Colombia durante los años 1970 - 1971. *Atmósfera* (SOCOLMET), No. 3, pp. 1-28.
- López, R., López C., Uribe-Palomino J., 2007: Quetognatos: ¿Indicadores de eventos climáticos anómalos en el océano Pacífico colombiano? *Boletín Científico CCCP*, No. 14, pp. 109-122.
- Lucero M., Cornejo M.P., 1990: Evidencia de la Corriente de Cromwell entre 92°W y 84°W observada entre períodos normales y durante El Niño 82-83. *Acta Oceanográfica del Pacífico* (INOCAR, Ecuador), 6 (1), pp. 18-27.
- Medina L., 1998: Cambios en la composición y abundancia de la comunidad microalgal del pacífico colombiano, en relación con el evento “El Niño” 97-98. *Boletín Científico CCCP*, No, 7, pp. 58-86.

- Mesa O. J., Poveda G., Carvajal L. F. 1997: Introducción al Clima de Colombia. Imprenta Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, 390 p.
- Montealegre J.E., 1996: Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia durante los períodos de ocurrencia de los fenómenos ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) y anti-El Niño. En: Memorias del IV Congreso Colombiano de Meteorología, IDEAM-SOCOLMET, pp. 157-169.
- Mosquera A.I., Gómez R.E., 1993: Descripción de algunas alteraciones océano - atmósfera registradas en la Ensenada de Tumaco debido a “El Niño” 1992. *Boletín Científico del CCCP*, No. 4, pp. 7-17.
- Ortiz C., Ramírez P., 1988: Incidencia del fenómeno El Niño en las características climáticas de Colombia. Tesis de pregrado Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Pabón J.D., 1990: Efecto climático del fenómeno El Niño en el suroccidente colombiano. En: Memorias del IV Congreso Inter-Americano y II Colombiano de Meteorología (17-21 de septiembre de 1990, Bogotá), pp. 161-168.
- Pabón J.D., 2003: Fenómeno El Niño: efectos e impactos en el Pacífico colombiano. En: El Mundo marino de Colombia investigación y desarrollo de territorios olvidados Red de Estudios del Mundo Marino – REMAR, Universidad Nacional de Colombia, pp.64-74.
- Pabón J.D., Montealegre J.E., 1992a: “Manifestación El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la Costa Pacífica Colombiana”. *Boletín ERFEN*, No. 31, pp. 3-11.
- Pabón J.D., Montealegre J.E., 1992b. Características climáticas relevantes durante la ocurrencia de los fenómenos ENOS en el noroccidente Sudamericano. 40 pp. Ed. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá, Colombia.
- Pabón J.D., Montealegre J.E., 1997: Probabilidad de afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno El Niño. Nota Técnica IDEAM/METEO/002-97: 1-39. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.
- Pabón J.D., Torres G.A., 2006. Efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá. *Meteorología Colombiana*. No. 10, marzo 2006, pp. 86-99.
- Pabón J.D., Torres G., 2007: Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía*, No. 16. pp. 81-94.
- Peña A.J., Cortés E., Montealegre F., 2001a: Incidencia de los fenómenos “El Niño” y “La Niña” sobre las condiciones climáticas en el Valle del río Cauca. Parte I: Análisis climatológico. *Meteorología Colombiana*. No. 3, pp. 102-118.
- Peña A.J., Cortés E., Montealegre F., 2001b: Incidencia de los fenómenos “El Niño” y “La Niña” sobre las condiciones climáticas en el Valle del río Cauca. Parte II - Análisis de correlaciones. *Meteorología Colombiana*. No. 3, pp. 119-128.
- Peña J.J., Mosquera A.I., 1992: Monitoreo al Fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en aguas costeras de la región IV Zona 3 del Pacífico nariñense. *Boletín Científico CCCP*, No. 3, pp. 51-65.

- Pineda A.R., 2001: Contenido calórico en la Cuenca del Pacífico colombiano durante La Niña de 1996 y El Niño de 1997. *Boletín Científico CCCP*, No. 8, pp.27-35.
- Pineda A.R., 1997: La corriente de Cromwell durante el fenómeno La Niña de 1996 y el fenómeno El Niño de 1997, en la cuenca del Pacífico colombiano. *Boletín Científico del CCCP*, No. 6, pp.109-122
- Poveda, G. y Mesa O., 1996: Caudales medios mensuales de ríos colombianos durante El Niño y La Niña. Memorias del IV Congreso Colombiano de Meteorología. Sociedad Colombiana de Meteorología, Bogotá. pp. 291-298.
- Poveda G., 1994: Cuantificación del efecto de El Niño y la Niña sobre los caudales medios en Colombia, Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología, IAHR, Santiago de Chile, Vol. 4.
- Poveda G., Mesa O., 1996: Las fases extremas del fenómeno ENSO-El Niño y La Niña y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Revista de Ingeniería Hidráulica*, México.
- Poveda G., Mesa O., Toro V., Agudelo P., Álvarez J.F., Arias P., Moreno H., Salazar L., Vieira S., 2001: . Diagnóstico del ciclo anual y efectos del ENSO sobre la intensidad máxima de lluvias de duración entre 1 y 24 horas en los Andes de Colombia. *Meteorología Colombiana*, No. 5, pp.67-74.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, Vol.28 (107), pp. 201-222.
- Poveda G., Rojas W., 1997: Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el Fenómeno El Niño - Oscilación del Sur. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales*, v. XXI, No. 81, pp. 421-130.
- Puertas O.L., Carvajal Y., 2008: Incidencia de El Niño Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia utilizando el Climate Explorer. *Ingeniería y Desarrollo*, No. 23, pp.: 104-118.
- Ramírez D.G., Giraldo A.G., Tovar J., 2006: Producción primaria, biomasa y composición taxonómica del fitoplancton costero y oceánico en el Pacífico colombiano (septiembre-octubre 2004). *Invest. Mar.*, Valparaíso, 34(2), pp.: 211-216.
- Riascos J.M., Urban H.J., 2002: Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea: Donacidae) en Bahía Málaga, Pacífico colombiano durante el fenómeno “El Niño” 1997/1998. *Rev. Biol. Trop.*, 50(3/4), pp.: 1113-1123.
- Rivera L., Pabón J.D., 1993: Análisis de la variabilidad interanual de los caudales de los ríos colombianos Magdalena y Cauca. *Atmósfera*, No 20, pp. 1-11.
- Rojas P.J., Pabón, 2000: Análisis preliminar de la actividad biológica en las áreas marítimas colombianas con información de imágenes de color del océano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá D.C. 27 p.
- Salazar A., 1990: Ciclicidad de los caudales en Colombia, fases húmedas y secas. *Atmósfera*, 14, pp. 42-53.

- Sánchez R., Vargas G., Euscátegui Ch., Mayorga R., 2000: Movimientos en masa dañinos ocurridos durante el fenómeno Frio del Pacífico (La Niña), 1999-2000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá D.C., 22 p. (versión electrónica en <http://www.ideam.gov.co/publica/Movimientosenmasa/FRMdañinosniña99-00.pdf>)
- Suzunaga J.O., Gómez R.E., 1995: Características oceanográficas y meteorológicas en el sur del pacifico colombiano en el periodo enero-diciembre/93 y su relación con el fenómeno "EL NINO 1991/1992", *Boletín Científico del CCCP*, No. 5, pp.36-72.
- Tucker C.J., Pinzón J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous, N. 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing* 26, pp. 4485-4498.
- von Prael H., 1987: Penetración de elementos faunísticos de la provincia Peruano Chilena al Pacífico colombiano durante el fenómeno de El Niño 1982-1983. *Boletín ERFEN*, No. 20, pp. 9-11.
- Zea J.A., Montealegre J.E., 1987: Estudio sobre el fenómeno El Niño. Publicación aperiódica del HIMAT, primera edición. (Reeditada en 1994).

LOS IMPACTOS DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA  
SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO

Los fenómenos de El Niño y de La Niña, a través de los diversos efectos (condiciones anómalas en el medio marino y en el clima) descritos en el capítulo anterior, impactan directamente los ecosistemas marinos y costeros del pacífico colombiano y, a través de las anomalías climáticas, afectan igualmente, los ecosistemas terrestres, los sectores socioeconómicos y la infraestructura de la parte continental y el sector insular del Caribe colombiano. En la Tabla 9.1 se resumen los diversos impactos que las condiciones generadas por el fenómeno de El Niño traen a diferentes regiones del territorio colombiano (en el caso del fenómeno de La Niña, los efectos y los impactos son prácticamente opuestos, aunque no de forma simétrica). En el sector centro-oriental de la Amazonía y de la Orinoquía se registran también anomalías climáticas asociadas al fenómeno de El Niño, no obstante, por la escasez de datos climatológicos de esta zona del país, no ha sido posible identificar un patrón de respuesta definido para todos los eventos: en ocasiones se presentan reducciones de la precipitación, en otras, aumentos. Por esta razón, tampoco es posible definir en detalle las características de los impactos para estas zonas del país.

Las dos fases extremas de la variabilidad climática interanual que se analizan en este libro generan impactos importantes en la oferta de agua para diversos propósitos. La reducción de la precipitación y el aumento de la evaporación y de la evapotranspiración generado en el aumento de la temperatura, producen una marcada reducción de la disponibilidad de agua para diversos usos (agricultura, abastecimiento de la población, saneamiento básico, generación de energía) en diferentes regiones del país. Lluvias abundantes, por su parte, generan excesos en la oferta que igualmente trae problemas a diferentes sectores.

En las regiones Andina y Caribe, por ejemplo, la reducción de la precipitación asociada al fenómeno de El Niño limita la disponibilidad de agua para la agricultura, la generación de energía (hidroenergía) y el abastecimiento para la población. Igualmente, la consecuente disminución de los niveles y caudales de los ríos afecta la pesca y el transporte fluvial, particularmente en el río Magdalena.

Los impactos en la parte continental y en el Caribe colombiano se generan principalmente por las anomalías de temperatura del aire y de precipitación y por

**Tabla 9.1.** Resumen de las amenazas e impactos que se registran en diferentes regiones del territorio colombiano cuando se presentan condiciones de fenómeno de El Niño.

Región	Efecto	Amenaza Asociada	Sistema, sector o elemento expuesto	Impactos
Área marítima Pacífico colombiano	Temperatura del agua de mar.	Migración especies marinas; Blanqueamiento de corales; Eventual aparición del fenómeno de marea roja.	Ecosistemas marinos. Sector pesca. Sub-sector de camarones	Alteración de ecosistemas marinos. Alteración de la distribución de las especies planctónicas y bentónicas como el camarón, sino también en las especies de peces y de otras con rutas largas de migración como las tortugas marinas y las ballenas. Dificultades en la producción pesquera.
Centro-Sur de costa pacífica colombiana	Aumento del nivel del mar.	Inundaciones costeras. Erosión hídrica costera.	Asentamientos costeros. Infraestructura costera.	Pérdida bienes domésticos y cultivos. Daños en infraestructura costera. Aumento de los casos de malaria y dengue
Regiones Andina y Caribe	Aumento temperatura del aire (día).	Oleadas de calor.	Salud humana Ecosistemas.	Alteración confort. Climático. Incremento de incidencia de malaria y dengue. Stress a ecosistemas.
Altiplanos	Disminución temperatura del aire (noche)	Temperaturas muy bajas en la madrugada. Incremento de la probabilidad de heladas (diciembre-enero)	Sector agrícola (cultivos) Sector pecuario (pastos, hato, producción lechera)	Baja en la producción de los cultivos de la región. Disminución del número de cabezas de ganado Disminución en producción de leche
Región Caribe y Andina	Reducción de la precipitación. Condiciones secas. Disminución de caudales en ríos y quebradas	Sequía Reducción de caudales Incendios forestales.	Acueductos municipales. Salud Hidroenergía. Transporte fluvial. Pesca	Desabastecimiento de agua para la población. Aumento de los casos de malaria y dengue Reducción de la generación de hidroenergía. Reducción de la pesca en ríos
Regiones Andina y Caribe	Reducción humedad del sistema vegetación –suelo.	Sequía Incendios forestales.	Sector agrícola. Ecosistemas y bosques. Suelos.	Reducción de la producción agrícola. Daños a ecosistemas terrestres.
Pacífico sur colombiano. Piedemonte llanero-amazónico	Abundantes precipitaciones.	Crecientes, desbordamientos. Remoción en masa. Inundaciones.	Población y asentamientos. Infraestructura vial.	Pérdida de bienes domésticos, de infraestructura (daños en vías, destrucción de puentes, entre otros). Aumento de los casos de malaria y dengue.

la variación en la frecuencia de fenómenos extremos, como los ciclones tropicales (tormentas tropicales y huracanes) generada por los fenómenos El Niño y La Niña.

A continuación se resumen los impactos en los diferentes sectores socioeconómicos de Colombia asociados a condiciones climáticas anómalas derivadas de los fenómenos de El Niño o de La Niña.

### 9.1. Los impactos en el sector agropecuario

Según los estudios realizados, el sector agrícola es uno de los más afectados por las fases extremas de la variabilidad climática. SAC (1997) resumió la diversidad de impactos del fenómeno de El Niño en los principales renglones del agro. En la Tabla 2 se presenta el porcentaje de afectación de la producción de diferentes cultivos por las anomalías climáticas provocadas por el fenómeno de El Niño 1997-1998 según IDEAM-DGPAD (2002). Es posible constatar que hay una reducción notable para algunos de los principales cultivos del país. En el año de 1997, por ejemplo, del total del área sembrada, el 2.4% se vio afectada por el déficit hídrico el cual cubrió particularmente sectores de la Región Andina y Caribe en los departamentos de Tolima, Huila, Boyacá, Nariño, y Santander, y los departamentos de Córdoba, Cesar y Atlántico, respectivamente. Esta situación afectó principalmente el café, maíz, yuca, arroz, plátano, papa, ñame, sorgo, algodón, fríjol.

En el caso del café (que no se presenta en la Tabla 9.2), el déficit hídrico producido por el fenómeno de El Niño reduce los rendimientos en algunas regiones como los departamentos del Valle, Tolima, Cundinamarca y Norte de Santander, pero en otras regiones se registran incrementos (Baldión-Rincón y Guzmán-Martínez, 1994); esta situación hace que en el agregado nacional no se note el impacto (Guzmán-Martínez y Baldión-Rincón, 1997). No obstante, la producción nacional en 1997 se redujo sensiblemente debido a que las anomalías climáticas afectaron la floración y la formación de frutos y además propiciaron el desarrollo de la broca, lo que condujo a una reducción notoria en el número de sacos producidos en ese año.

**Tabla 9.2.** Porcentaje de reducción de los rendimientos de los cultivos principales en el territorio colombiano atribuible al impacto del fenómeno El Niño (según IDEAM-DGPAD, 2002)

Cultivo	%	Cultivo	%	Cultivo	%	Cultivo	%
Soya	2.2	Tabaco	3.3	Caña panelera	4.1	Arroz	4.8
Caña de azúcar	2.1	Fríjol	3.5	Algodón	4.3	Cebada	6.8
Banano	2.8	Cacao	3.7	Maíz	4.5	Palma de aceite	7.3
Sorgo	3.0	Plátano	3.8	Papa	4.6	Yuca	7.6

El impacto que ocasiona, en la producción de papa del altiplano cundiboyacense, las condiciones climáticas anómalas asociadas al fenómeno de El Niño ocurre a través de diversas formas. *Pabón (1990, 2003)* mostró que las condiciones secas que se registran bajo la influencia del fenómeno de El Niño en la región andina propicia el incremento de la frecuencia de las heladas en el altiplano nariñense lo que afecta el cultivo de la papa en esta región. *DEA-SAC (1999b)* reportó una caída del orden de 15% en la producción de la papa en 1998, debido principalmente a que las anomalías climáticas asociadas al evento de 1997-1998 favorecieron la proliferación de la polilla guatemalteca. De otra parte, *Fernández (2009)*, estableció una relación marcada entre el IOS y los rendimientos del cultivo de papa en los municipios localizados en el altiplano cundiboyacense, de tal manera que las fases positivas (La Niña) de IOS tienden a incrementar los rendimientos y las negativas (El Niño) a reducirlos, debido principalmente a las anomalías de la precipitación regional asociadas a cada fase. Es necesario mencionar que el impacto en los rendimientos de la papa (así como de otros cultivos como las hortalizas) se transmite a través de los precios al consumidor hasta el valor de la canasta familiar, incidiendo así en indicadores económicos nacionales (ver, por ejemplo *DEA-SAC, 1999a; Caicedo, 2007*).

El subsector arrocerero es otro que se ve marcadamente afectado por las condiciones anómalas generadas por los fenómenos de El Niño y de La Niña. *DEA-SAC (1999b)* menciona que en el primer semestre de 1998 hubo una reducción del área sembrada y de los rendimientos de arroz como respuesta a las condiciones climáticas adversas que reinaron en ese período debido a la presencia del evento cálido de 1997-1998. Aunque el informe de la cadena del arroz *MADR-OAC (2005)* no analiza el efecto de la variabilidad climática en el arroz, sí menciona que el arroz de secano (que se cultiva principalmente en los Llanos y en el Bajo Cauca y Chocó) es el más afectado por el clima. En las estadísticas de rendimientos de arroz paddy verde para el período analizado en dicho informe, se observan disminuciones marcadas en los Llanos (tanto bajo riego como secano) en 1996 y en 2000 e incrementos notables en 1994 y 1999, pero la conexión directa de estas con la variabilidad climática queda aún por analizar. Lo que empíricamente se tiene establecido es que los períodos con mucha humedad propician el desarrollo de plagas y enfermedades (el añublo, por ejemplo, causado por el hongo *Pyricularia oryzae* que prolifera bajo condiciones anormalmente húmedas) afectan tanto el arroz de secano como el que se cultiva bajo riego, lo que puede producir una notoria reducción de la producción.

La reducción drástica de las lluvias en las zonas arroceras del país también puede afectar el recurso que abastece los sistemas de riego y así incidir en la producción. En efecto, según lo reportó el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras - INAT (ver *CAF, 2000*) en el evento El Niño de 1997-1998 hubo una reducción de cerca de 47% del caudal de las fuentes que abastecen los sistemas de riego del país. En situaciones

de esta naturaleza se genera un conflicto de uso de agua ya que el abastecimiento para consumo humano y el riego estarían compitiendo por un recurso escaso. En vista de que, según la normatividad, la prioridad la tiene el abastecimiento para la población, en estos casos el sector agrícola se ve afectado considerablemente.

El cultivo del algodón en el país, se ve impactado de diversa forma por las anomalías climáticas que generan los fenómenos de El Niño y de La Niña, en la medida que existen dos regiones con calendario de siembra diferente: en Tolima, Huila y Valle del Cauca se siembra en febrero-marzo y se cosecha entre julio y octubre (a esta se denomina “cosecha del interior”); en la costa Caribe (Cesar, La Guajira, Atlántico, Magdalena y Bolívar) y en la Orinoquía (Casanare, Meta, Guaviare y Vichada) se siembra a mediados de año y se cosecha entre diciembre y marzo (cosecha Costa-Llanos). La primera cosecha aporta el 30% del producido anual, la segunda el 70% de la producción nacional (*MADR-OAC, 2005*). Dado que en el caso del fenómeno de El Niño, las anomalías más intensas suelen ocurrir en el último trimestre del año y en el primero del año siguiente, el impacto sería más severo en la cosecha del interior. En el análisis que presenta *SAC (1997)* para el evento 1997-1998 se plantea que en esta cosecha, el déficit hídrico redujo el porcentaje de germinación, la emergencia y el establecimiento de las plantas, lo cual produce una notable disminución de los rendimientos, que a la final conlleva al descenso de la producción regional; no obstante, *SAC (2007)* también menciona que la cosecha de Costa-Llanos se ve afectada por efectos del fenómeno de El Niño debido a que las condiciones climáticas anómalas dificultan el desarrollo de algunas prácticas agronómicas. *CONALGODON (2006)* reporta una baja en los rendimientos a escala nacional para el 2005, año que fue relativamente normal, aunque los dos primeros meses tuvo el efecto un fenómeno de El Niño débil y a finales de año, la influencia de un ligero enfriamiento del Pacífico. Al parecer, el segundo semestre del año 2004, en el que se registró un evento El Niño débil, propició las condiciones que permitieron obtener buenos rendimientos.

De otra parte, la producción de plátano en el país, en términos generales, se reduce cuando ocurre un fenómeno de El Niño, debido a las deficiencias hídricas que este genera en gran parte de la región platanera (en el Departamento del Atlántico ver *Ruiz-Cabarcas y Pabón –Caicedo, 2013*); bajo la influencia del fenómeno de La Niña, cuando se producen lluvias por encima de lo normal, se propicia el desarrollo de enfermedades fungosas. El banano también se ve afectado por las condiciones anómalas y, aunque los estudios al respecto son muy escasos (*Guarín-Giraldo, 2011*), con base en la experiencia en eventos anteriores, hay conocimiento de los impactos negativos en sus rendimientos en algunos departamentos del país. En el evento La Niña de 2014-2016 se reportaron cuantiosas pérdidas y problemas socioeconómicos ocurridos en zonas productoras de banano del país (ver por ejemplo <https://www.sectorial.co/informativa-banano/item/51702-el-banano-afectado->

por-el-fen%C3%B3meno-de-el-ni%C3%B1o que reporta la situación en el sector bananero, especialmente en los departamentos de Magdalena y La Guajira, a 10 de mayo de 2016; también en el Departamento de Huila a enero de 2015 <http://www.lanacion.com.co/index.php/actualidad-lanacion/item/264691-en-crisis-produccion-de-banano-en-el-huila-por-el-fenomeno-de-el-nino>)

Las anomalías climáticas generadas por los fenómenos El Niño o La Niña también afectan al sector de la caña azucarera. Según lo afirmó la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña, bajo la influencia del fenómeno de El Niño, las altas temperaturas y el déficit de lluvias afectan el desarrollo de las plantas y son la causa de incendios en las plantaciones, lo que conlleva a reducciones en la producción hasta del 20% e incremento en los costos totales hasta del 50% (por requerir más riego de lo común y el desarrollo de actividades adicionales en el cuidado del cultivo).

La producción de palma de aceite también se ha visto afectada por los fenómenos El Niño y La Niña. *Cadena et al., 2004* y *Cadena et al., 2006* analizaron el impacto de estas dos fases extremas del ciclo ENOS en la producción de palma de aceite en el sector de Tumaco y encontraron una reducción de la producción asociada al déficit hídrico y al aumento del brillo solar que La Niña genera en la región. El fenómeno El Niño, por el contrario, genera incrementos de la producción, en la zona.

El subsector de las flores, que en la actualidad constituye una actividad económicamente importante en el sector y en la economía nacional, es afectado por las condiciones climáticas anómalas generadas por el fenómeno El Niño, como la disminución de precipitación (aunque en su mayor parte está soportado con riego), las extremadamente altas temperaturas de comienzos de las tardes y la mayor frecuencia e intensidad de las heladas en los altiplanos en los que se desarrolla la floricultura. *SAC (1997)* destaca que uno de los factores de mayor impacto del fenómeno El Niño en el sector floricultor del altiplano cundiboyacense, es el hecho de que las máximas anomalías climáticas generadas por dicho fenómeno, ocurren en el último trimestre del año y en el primer trimestre del año siguiente, período en el que se desarrolla el principal pico de la producción y venta de flores.

Según *Caicedo (2007)*, en términos generales, en lo que se refiere al impacto negativo del fenómeno El Niño en la agricultura colombiana, los rendimientos de los cultivos permanentes son más afectados que los de los transitorios, con reducciones de 5,5% y 4,4%, respectivamente.

La ganadería también se ve afectada por las fases extremas de la variabilidad climática asociada a los fenómenos El Niño y La Niña, aunque son más conocidas las evidencias de los impactos que el primero trae a este sector. Las condiciones anómalas que el fenómeno El Niño genera en el clima de diferentes regiones del país (las heladas de la madrugada que ocurren en los altiplanos, las extremadamente

altas temperaturas del mediodía y comienzos de la tarde, así como el déficit hídrico) afectan considerablemente los pastos y la disponibilidad de agua en los ríos, quebradas y caños, con perjuicio para los animales. Esto reduce la producción de leche (se estima que hay una reducción de alrededor del 5% de producción) y de carne; también disminuye el hato en diferentes regiones, a través de la muerte de animales y la disminución de la fecundidad. La ganadería también se ve afectada por el incremento de algunas plagas y enfermedades (en el evento El Niño de 1997-1998, por ejemplo, hubo reportes acerca de la proliferación de enfermedades vesiculares).

La avicultura, por su parte, por los aumentos en la morbilidad debido al incremento del estrés calórico y del déficit hídrico en los planteles avícolas, en época de El Niño se ve afectada en la producción de huevo y en el proceso de engorde de los pollos, en las diferentes regiones del país. Las acciones tendientes a mitigar estos impactos incrementan los costos de producción.

En general para el sector agropecuario, la baja en rendimientos y producción ocasionada por condiciones climáticas asociadas al fenómeno El Niño conlleva a la reducción considerable de la exportación y, al aumento de la importación de algunos productos agrícolas, lo que consecuentemente afecta temporalmente la balanza de pagos sectorial.

Hay que reconocer que, en cuanto a los efectos y el impacto de las condiciones La Niña en el sector agropecuario, la información es muy escasa debido a que han sido menos estudiados, no obstante, si se hace seguimiento a los informes gremiales, es posible tener una idea de las consecuencias en el sector. Así, por ejemplo, *SAC (2009)* en su reporte del desempeño en el período 2007-2008 menciona que “el exceso de lluvias ha ocasionado enormes daños en las áreas sembradas, particularmente en los cultivos de ciclo corto, que han llevado incluso a que el Gobierno Nacional destine 55 mil millones de pesos, con el fin de refinanciar las deudas de los productores afectados”. Ciertamente el Gobierno Nacional decidió apoyar al sector agropecuario afectado considerablemente por las anomalías climáticas asociadas al evento La Niña 2007-2008 que se expresaron con mayor intensidad en el 2008.

El evento La Niña 2010-2012 afectó de forma extraordinaria el sector agropecuario del país. Hubo enormes pérdidas debido a que las inundaciones redujeron el área de cultivo y, de otra parte, porque la alta humedad del suelo, la baja cantidad de radiación solar y problemas fitosanitarios (enfermedades fungosas y bacterianas), redujeron de manera considerable los rendimientos de cultivos transitorio y permanentes; a ello se sumaron los problemas pecuarios como los zoonosarios, la muerte de animales por diversas causas y disminución del hato. Según *CEPAL (2012)*, las pérdidas del sector agropecuario debido a este evento, sumaron cerca de 764.000 millones de pesos colombianos distribuidos así: \$387.450 millones de los cultivos transitorios, \$305.999 millones de los cultivos permanentes, \$23.982 millones de pesos de la producción

de carne, \$13.182 millones de pesos de leche, \$28.036 del sector acuícola (peces y camarones; cerca de 8.5 millones de alevinos muertos y más de 2 mil toneladas de carne de pescado perdida) y \$4.446 millones del sector avícola (se reportaron más de 600.000 aves muertas). A esta suma habría que agregar las pérdidas generadas a la agroindustria de azúcar (por aumento en los costos de producción \$36.231 millones), exportación de banano (por el efecto de la reducción de la producción en 1,1% en el empaque \$11.253 millones), la agroindustria de la carne y la leche (por la muerte de 160.965 reses perdió \$9.559 millones).

En lo que concierne a la pesca marítima, se tiene establecido que ocurren disminuciones sistemáticas y de una magnitud considerable en la producción pesquera del Pacífico colombiano bajo la presencia de fenómenos El Niño (ver *IDEAM-DGPAD, 2002*). Esta situación es atribuible directamente al calentamiento de las aguas del Pacífico, que constituye una de las manifestaciones características del fenómeno. Se tiene establecido que debido al fenómeno El Niño se presentan reducciones en el promedio anual de producción (captura) hasta del 52%, en el Pacífico, y del 9%, en el Atlántico (el efecto es indirecto).

En cuanto a la pesca continental, se tiene establecido, por ejemplo, que la subienda del bocachico, que generalmente ocurren durante los últimos meses del año y los primeros meses del año siguiente, se ve notoriamente mermada con los niveles bajos de los ríos que asociados a la influencia del fenómeno El Niño, ocurren abarcando los dos períodos mencionadas; el impacto socioeconómico de esta alteración es enorme en la escala de pequeñas comunidades que viven de la pesca. Como muestra de la situación que se vive en poblaciones tradicionalmente pescadoras bajo eventos de El Niño fuertes, puede servir el reporte del diario El Tiempo del 3 de enero de 2016 que se transcribe a continuación:

### ***La lenta agonía del río Magdalena ante fenómeno del Niño***

***La extensa temporada seca ya cobra damnificados. La pesca y el comercio disminuyen.***

*El río Magdalena tiene sed. Los habitantes de los pueblos que viven en sus orillas ven con preocupación la temporada seca generada por el fenómeno del Niño, que viene disminuyendo su caudal en distintos puntos de sus 1.500 kilómetros de recorrido. (Lea también: Declaran alerta roja por bajos niveles del Magdalena y el Cauca)*

*Decenas de municipios son testigos de cómo las altas temperaturas han ido agotando las aguas y, con ellas, el sustento de muchas familias. Sobre los pescadores del Huila, en el alto Magdalena, pesa la incertidumbre por el futuro de su actividad económica.*

*Uno de ellos, Gildardo Martínez, asegura que “se está viendo mucha pobreza”. Los ecos del problema llegan hasta el Tolima. En lugar de la subienda habitual para esta poca, en el municipio de Honda, el río apenas supera los 3 metros de profundidad. Allí, 1.150 familias que viven de la pesca saben que esto tendrá consecuencias para el resto del año.*

*“De esa platica que hacía en enero, les compraba a mis hijos las cosas para el estudio, y me quedaba para sobrevivir por lo menos hasta la mitad del año y, cuando ellos crecieron, para ayudarle a mis nietos. Pero ahora no hay nada”, cuenta César Campos, pescador tradicional. (EL TIEMPO, 3 de enero de 2016)*

Las condiciones asociadas al fenómeno La Niña también afectan la pesca continental y la acuicultura en general. Como se señaló arriba, el evento La Niña 2010-2011 trajo pérdidas a este sector. Estas últimas ocasionadas por la forma del impacto: inundaciones que irrumpen en los estanques de cultivo o por la intensidad de las corrientes en los ríos, que generalmente son bastante fuertes.

## **9.2. Los impactos sobre el abastecimiento de agua y el saneamiento básico**

El abastecimiento de agua para la población es uno de los sectores más sensibles a la reducción de los volúmenes de precipitación causada por los fenómenos de El Niño. El déficit hídrico genera situaciones de racionamiento de agua o algún grado de restricción en el suministro del servicio, principalmente en las regiones Andina y Caribe, como ocurrió en el evento de 1997-1998 para el cual se ha estimado que aproximadamente el 30% de los municipios del país y directamente una población a cercana a los dos millones de personas, presentaron situaciones críticas en cuanto al abastecimiento de agua para la población (DNP, 1998).

En sectores en los que el efecto del fenómeno de El Niño propicia lluvias abundantes como ocurre en el piedemonte llanero y amazónico, las crecientes afectan la infraestructura que mantiene el servicio de captación, tratamiento y conducción o distribución del recurso a los consumidores. Esta situación fue evidente en Florencia, capital de Caquetá, en marzo de 2010 cuando lluvias intensas afectaron el suministro de agua a diversos sectores de la ciudad.

De otra parte, las fuertes lluvias y crecientes que se generan en las regiones Andina y Caribe por los efectos del fenómeno de La Niña afectan la calidad del agua (por alta turbidez) e impacta la infraestructura de acueducto y alcantarillado, generando

problemas de salubridad. Sobre los impactos de esta fase de la variabilidad climática en el servicio de acueducto y alcantarillado, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (*SSPD, 2007*), previendo el advenimiento de un evento La Niña en el año 2007, destaca “la turbiedad” que afecta la calidad del recurso y los daños en la infraestructura que pueden ser causados por “los desbordamientos, deslizamientos y avalanchas”.

El impacto del fenómeno de La Niña en este sector, se puede ilustrar concretamente con lo ocurrido a raíz del evento La Niña 2008-2009 en diferentes localidades de departamentos andinos y de la región Pacífica (*OPS, 2008*) y de manera más clara, con la situación generada por el evento La Niña 2010-2012. En este último evento las inundaciones, crecientes súbitas y deslizamientos produjeron daños del orden de 338.000 millones de pesos colombianos al subsector de abastecimiento de agua y de cerca de 187.200 millones, al saneamiento básico (*CEPAL, 2012*).

Una situación especial que merece ser mencionada aquí, es el sistema de abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá y su relación con las fases extremas de la variabilidad climática asociadas a los fenómenos de El Niño y de La Niña. El abastecimiento de agua para la ciudad proviene de cuencas situadas en la Sabana de Bogotá, en las que predomina un ciclo anual bimodal (régimen interandino) en el comportamiento de las lluvias y, de cuencas del régimen monomodal oriental (de la Orinoquía). Cuando ocurre un fenómeno de El Niño, la precipitación en la Sabana de Bogotá disminuye y en el sector oriental tiende a aumentar; durante la influencia de La Niña, el efecto es contrario (*Departamento de Geografía - Universidad Nacional de Colombia, 2007*). Por lo anterior, en la actualidad, los problemas que se pudieran presentar en el abastecimiento de agua para la población de la ciudad de Bogotá, estarían generados más por otros factores que por el impacto de la variabilidad climática. En años anteriores a la incorporación del sistema oriental, cuando el abastecimiento dependía principalmente del régimen interandino, con la ocurrencia de eventos El Niño sí se impactaba este sector e incluso hubo algunos racionamientos de agua para la ciudad (*Pabón y Torres, 2007*).

### **9.3. Impactos en el sector generador de energía**

El componente hidroenergético es proporcionalmente alto (entre el 70 y el 80% del total) dentro del sistema de generación de energía del país; esto hace que el sector sea sensible a las anomalías climáticas como las causadas por el fenómeno de El Niño, las que según *Villarreal y Córdoba (2008)*, pueden producir desajustes importantes al equilibrio oferta-demanda. Al disminuir los aportes a los embalses durante el fenómeno de El Niño, se reduce considerablemente la generación de hidroenergía, hasta tal punto que puede llegarse a racionamientos de energía como el ocurrido en 1992.

A partir de la situación crítica experimentada con ocasión del evento El Niño 1991-1992, el sector eléctrico colombiano incorporó las lecciones aprendidas para reducción de su vulnerabilidad. Este sector ha enfrentado con éxito los eventos El Niño intensos de 1997-1998 y de 2009-2010 con diversas estrategias (reducción del componente hidrogenerador y aumento del termogenerador; campañas de ahorro de energía, entre otras). En cuanto al incremento de la termogeneración, un reporte del sector energético informa que en el 2009, con respecto a la situación de 2008, la generación térmica tuvo un incremento de 87.3%, mientras que la generación hidráulica decreció 11%, como respuesta al evento El Niño 2009-2010. El incremento del componente de generación térmica llevó a usar gas entre otros combustibles, lo que llevó al Ministerio de Minas y Energía a racionar el suministro de este combustible para el parque automotor y garantizar de esta manera, la generación de energía eléctrica.

Es necesario tener en cuenta que la generación de energía a partir de otras fuentes incrementa los costos de producción, lo que puede repercutir en un aumento en el precio de la misma para el consumidor (ver *SSPD, 2010* o *CREG, 2010*). El impacto en el sector energético se transmite de diversas maneras a otros sectores, particularmente en el transporte, la industria y el comercio, lo que a su vez trae consecuencias socioeconómicas adicionales.

Se debe mencionar también que no todo el impacto del fenómeno de El Niño en el sector eléctrico nacional es negativo. El aumento de la temperatura del aire en diferentes regiones del país propicia un mayor consumo de energía para refrigeración, aire acondicionado y ventilación y, consecuentemente, mayores ingresos a las empresas del sector. Según la empresa XM, del 5,6 % que se incrementó el consumo de energía en el país en febrero de 2010, 1,9 % correspondió a una mayor demanda, debida a que los ventiladores y los sistemas de aire acondicionado tuvieron que funcionar más tiempo que el usual, en diferentes regiones del país. En 2009 la generación de energía eléctrica en Colombia fue de 55,965.6 GWh, 2.9 % por encima de la registrada en 2008 (54,395 GWh), evolución positiva, causada tanto por el incremento en la demanda como por a las exportaciones de electricidad hacia Ecuador y Venezuela.

El impacto del fenómeno de La Niña en el sector de generación de energía eléctrica ha sido menos analizado. Sin embargo, se conoce que el aumento de la frecuencia de tormentas en las regiones Andina y Caribe bajo la influencia del fenómeno La Niña, afecta principalmente las redes de distribución en el país, con las descargas eléctricas que impactan las torres del sistema interconectado, ocasionando daños en transformadores y problemas en el servicio, así como costos de recuperación y restablecimiento. Igualmente, las lluvias abundantes que ocurren generalmente bajos eventos La Niña, incrementan la frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos como crecientes, desbordamientos y deslizamientos que pueden afectar la infraestructura del sector.

Como consecuencia del impacto de fenómenos extremos asociados a la anomalía climática causada por el evento La Niña 2010-2012, el subsector de energía eléctrica reportó daños (kilómetros de redes, postes y transformadores dañados; conexiones domiciliarias para reparación de daños) que sumaron 31.484 millones de pesos colombianos; en el subsector de gas también se registraron daños por 134.000 millones de pesos colombianos, debido principalmente al impacto en las redes de distribución (ductos y estaciones) y en acometidas domiciliarias de reparación; en el sector de hidrocarburos los daños a la infraestructura de petróleo y biocombustibles sumaron 173.000 millones de pesos (CEPAL, 2012).

También hay que mencionar que las abundantes lluvias que se generan por el efecto del fenómeno de La Niña en la región Andina, recuperan los embalses hasta sus capacidades máximas, garantizando recurso hídrico más que suficiente para garantizar la demanda de energía y reduciendo los costos de producción de la misma. Esto último se traduce en un impacto positivo para el sector. No obstante, en algunos casos, hay la necesidad de desembalsar para manejar excedentes, lo cual puede generar problemas a las poblaciones rivereñas que están por debajo de los embalses; tal situación ha ocurrido en diversas ocasiones con el río Cauca y el embalse de Salvajina.

#### **9.4. Impactos en el sector de la salud**

La experiencia de situaciones climáticas extremas ocurridas en la segunda mitad del siglo XX y en el primer decenio del XXI ha evidenciado su impacto en el sector de la salud. Las anomalías de temperatura del aire, de humedad relativa y de precipitación generadas por el fenómeno de El Niño en diferentes regiones, propician una mayor proliferación de vectores de enfermedades tropicales (malaria, dengue, leishmaniasis, chagas). Bajo la influencia del fenómeno La Niña, las condiciones climáticas anómalas (mayor humedad y menor temperatura del aire que reducen la sensación térmica de los individuos) conforman un ambiente en el que se desarrollan con mayor facilidad las denominadas enfermedades respiratorias agudas.

Los resultados de diferentes investigaciones han puesto en evidencia que, durante la presencia de condiciones El Niño moderados y fuertes en el territorio colombiano, se incrementa la incidencia de enfermedades como la malaria (*De la Hoz y otros, 1996; Poveda y Rojas, 1997; Poveda et al., 2001*) y el dengue (*Giraldo y otros, 1999; Poveda y otros, 1999; Salud Colombia La Revista, 2000; Gagnon y otros, 2001*).

Así, por ejemplo, en 1997-1998 hubo un aumento anómalo de casos de malaria en Colombia del 42%, presentándose por primera vez desde la década de 1970 un predominio neto de los casos por *Plasmodium falciparum* (52%), lo que rompió la tendencia de la proporción de casos por esta especie que, históricamente y hasta entonces, había oscilado entre el 30% y el 40% (*González et al., 1997*). En el evento La

Niña 1999-2000 el número de casos de paludismo en Colombia, disminuyó a 86.808, una tercera parte de los casos informados en 1998 y, aproximadamente, la mitad de los casos que se registran usualmente al año; igualmente, la proporción de casos por *P. falciparum* disminuyó a 33% (Pabón y Nichols, 2005). Los trabajos de García (2004) y Ruiz y otros, (2006), quienes han explorado a través de modelamiento los diversos factores (la población humana hospedera o huésped, la ecología del vector y el clima) que participan en la transmisión de la malaria, contribuyen a entender la relación existente entre las anomalías climáticas, particularmente las de temperatura del aire y de precipitación generadas por las fases extremas El Niño y La Niña, y la incidencia de esta enfermedad.

Aunque se ha señalado a las anomalías climáticas provocadas por el fenómeno de El Niño como un factor que incrementa la incidencia de la malaria en Colombia, el análisis de esta relación se ha efectuado para el agregado nacional; sin embargo, en ocasiones, para algunas regiones, la fase opuesta, puede incrementar la incidencia, como es el caso de la epidemia de malaria en La Guajira, entre diciembre de 1999 y febrero de 2000, la cual fue atribuida a las altas precipitaciones ocurridas desde noviembre de 1999 (ver Porras y otros 2001) que estuvieron asociadas al evento La Niña 1999-2000).

En cuanto al dengue, diversos autores han identificado que bajo la influencia de condiciones El Niño, ocurre un aumento de la incidencia de la enfermedad y bajo La Niña, una reducción (Giraldo y otros, 1997; Poveda y otros, 1999; Gagnon y otros, 2001). No obstante, el incremento de la incidencia durante el fenómeno El Niño se debe al parecer, no, a que bajo las condiciones anómalamente cálidas y secas asociadas a dicho fenómeno se incrementa la población de vectores, sino a que bajo estas condiciones los humanos almacenan agua en donde el *Aedes aegypti* puede reproducirse.

También se ha establecido que el ciclo ENOS regula la variabilidad de la incidencia de la leishmaniosis en regiones de Colombia. Cárdenas et al., 2006, por ejemplo, en un estudio efectuado para el nororiente colombiano (departamentos de Santander y Norte de Santander), establecieron que bajo el efecto climático del fenómeno El Niño se presenta aumento de los casos con leishmaniasis y bajo la influencia de La Niña se registra disminución.

El sector de la salud también se ve impactado por efecto de los daños a la infraestructura causados por las anomalías climáticas asociadas a las fases extremas del ciclo ENOS. En este aspecto, los daños generalmente son mayores bajo las condiciones La Niña, debido a que las inundaciones de planicie, las inundaciones súbitas y los deslizamientos afectan la infraestructura hospitalaria. En el evento La Niña 2010-2012, según datos de CEPAL (2012) los daños en la infraestructura de salud en Colombia, fueron del orden de los 192.843 millones de pesos colombianos,

representados en daños a puntos de atención, puestos de salud y hospitales, afectación de muebles, enseres, equipos e instrumental, insumos, materiales y medicamentos.

## **9.5. Impactos en el transporte por carreteras, férreo y fluvial**

Las anomalías de las fases extremas de la variabilidad climática asociada a los fenómenos de El Niño y de La Niña causan impactos directos e indirectos, en muchos casos con grado severo, a la infraestructura de los diversos tipos de transporte que operan en el país.

Las lluvias abundantes que se registran en la región interandina bajo condiciones La Niña afectan la infraestructura vial en esta región, a tal punto que se bloquea el tráfico de carga y pasajeros en diferentes sectores de las vías más importantes para el país, como la carretera Cajamarca-Calarcá (en el sector de La Línea) y Mariquita-Manizales (en el sector de Letras), con grandes pérdidas al sector transportador y al comercio. En eventos La Niña intensos y prolongados como los de 1954-1956, 1973-1976, 1998-2001 y 2010-2012 se han afectado drásticamente no solo la infraestructura vial en los sectores mencionados sino que, se han destruido las carreteras en la parte Andina de Nariño, Cauca, Valle, los departamentos del Eje Cafetero, Cundinamarca, en Santander y Norte de Santander.

En el último evento de La Niña 2010-2012, el valor estimado de los daños ocasionados a carreteras y puentes de la red primaria sobrepasa 1,4 billones de pesos colombianos y la red secundaria y terciaria 1,86 billones (ver datos de *CEPAL, 2012*).

Bajo condiciones El Niño, por las abundantes lluvias que ocurren en los piedemonte orientales, se afectan en diferentes tramos las carreteras que conectan los valles interandinos con los Llanos Orientales (las vías Sogamoso-Yopal y Bogotá-Villavicencio) y con la Amazonía (las carreteras Neiva-Florencia y Pasto-Mocoa), lo que también ocurre con las carreteras que conectan con las llanuras del Pacífico, especialmente las del departamento de Nariño (la vía Pasto-Tumaco, en sectores localizados en la vertiente del Pacífico) y Valle (el tramo Cali-Buenaventura).

La red de transporte férreo se ve afectada también por las condiciones anómalas que trae al país el fenómeno de La Niña. En efecto, las lluvias abundantes y la saturación del suelo generan inestabilidad del terreno, que trae como consecuencia derrumbe de taludes y obstrucción de la vía, hundimiento de bancas y afectación y colapso de los sistemas de drenaje (cunetas y alcantarillas). Por estas formas de afectación a la red férrea, el evento de La Niña 2010-2012 ocasionó daños estimados en 68.132 millones de pesos (*CEPAL, 2012:130*).

En cuanto a la navegación fluvial, las regiones en las que se registra reducción de lluvias bajo la influencia del fenómeno de El Niño, se detecta una disminución de los

niveles y caudales de los ríos, lo cual tiene importantes repercusiones, no solo en el sector del transporte fluvial, sino que reduce la movilidad de las personas y afecta el comercio. Así, algunos estudios estiman que bajo estas condiciones anómalas, ocurre una reducción del 10-20% en transporte de carga por el río Magdalena. La Figura 9.1 ilustra la situación que ocurre en el río Magdalena bajo los efectos de fenómeno de El Niño muy fuertes como el evento 2014-2016.

Las condiciones climáticas características de los eventos la Niña afectan al sector de transporte fluvial con la sedimentación y los daños que ocasionan en los puertos, debido a colapso de la banca y a los efectos en los muebles, enseres, equipos por los desbordamientos y las inundaciones. Con ocasión de La Niña 2010-2012, los daños a la infraestructura de transporte fluvial de Colombia superó los 23.000 millones de pesos (ver *CEPAL, 2012:133*).

3/1/2016 Barcos de hidrocarburos parados por sequía en río Magdalena - Otras ciudades - ELTIEMPO.COM

### Barcos de hidrocarburos parados por sequía en río Magdalena

La fuerte sequía ha hecho que en algunas zonas la profundidad del río sea de solo 32 centímetros.

Por: BUCARAMANGA |  
© 12:29 p.m. | 31 de diciembre de 2015



Foto: Archivo particular  
Ahora, a lo largo del Magdalena solo pueden pasar embarcaciones de menos de 25 toneladas.

El fuerte calor que por estos días se siente a orillas del río Magdalena golpea las tejas de caucho de la casa de Juan Pablo López, un humilde pescador que llegó a vivir a la vereda Puerto Playa del municipio de Yondó (Antioquia) huyendo de la violencia. En este punto, el río Magdalena no supera los 32 centímetros de profundidad.

Mira con incertidumbre las extensas playas que durante estas semanas ha formado el bajo caudal del río Magdalena. (Lea también: [Declaran alerta roja por bajos niveles del Magdalena y el Cauca](#))

"Si no hay pescado con qué vamos a comer, señorita", dice mientras observa a tres de sus cinco hijos.

López cuenta que nunca había visto el río tan bajo desde que vive en este sector, y ahora, cuando salen a pescar de noche en las canoas junto a sus tres compañeros de travesía, a veces se devuelven con la

**Figura 9.1.** Fragmento de informe publicado por el diario *EL Tiempo* el 31 de diciembre de 2015, cuando el país estaba bajo los efectos de la fase de madurez del fenómeno de El Niño 2014-2016. (Tomado de <http://www.eltiempo.com> consultado el día 3 de enero de 2016).

## 9.6. El Niño y La Niña y los desastres en Colombia

Las fases de la variabilidad climática asociada a los fenómenos de El Niño y de La Niña, regulan la frecuencia de eventos extremos (heladas, lluvias intensas, tormentas, crecientes e inundaciones súbitas, inundaciones de planicies, huracanes, incendios,

entre otros) que se constituyen en amenaza para los ecosistemas y la población y el sistema socioeconómico (infraestructura y producción) de las regiones del país. Así, bajo una de las fases del ciclo ENOS se incrementa la frecuencia de algunos eventos extremos y disminuye la de otros. El aumento de la frecuencia implica un incremento de la amenaza sobre una región asociada a determinado fenómeno hidrometeorológico o hidroclimático que, al concretarse, impacta los elementos expuestos, de tal manera que se generan desastres de enorme dimensión. La magnitud de estos últimos, generalmente se cuantifica en pérdidas de vidas humanas, de bienes y servicios y en daños a la infraestructura.

Igualmente, se ha detectado una relación muy estrecha entre la ocurrencia de eventos El Niño con las sequías que se presentan en el país (ver *Hurtado, 1996; Hurtado y Cadena, 2001*). Las condiciones secas del sistema suelo-cobertura vegetal facilitan la generación de incendios de bosques y matorrales, por ello las anomalías hidroclimáticas asociadas al fenómeno de El Niño, son condición en la que se incrementan los eventos de incendios forestales. La figura 8.7 muestra los municipios del país que se vieron afectados por la ocurrencia de incendios forestales durante el evento El Niño de 1997-1998

De igual manera, los fenómenos de El Niño y de La Niña inducen variabilidad en la frecuencia de los eventos extremos de lluvia, como se muestra en la Figura 8.8 en la que se observa que para la región, bajo condiciones de El Niño, se registran menos tormentas que durante La Niña. La relación de las fases del ciclo ENOS con la frecuencia de eventos extremos de lluvia, ha sido también señalada por *Poveda y otros (2001)* para otras regiones del país.

Los fenómenos de El Niño y de La Niña igualmente controlan la variabilidad interanual de la actividad de los ciclones tropicales. Esto afecta muy directamente la incidencia de las tormentas tropicales y de los huracanes sobre el territorio colombiano. Durante eventos El Niño estos fenómenos extremos prácticamente no se observan sobre el territorio (marítimo o costero) colombiano, mientras que bajo la influencia de La Niña, se ha registrado el paso de estos sistemas sobre la península de La Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta, el sector marítimo del Caribe colombiano y han afectado el Archipiélago de San Andrés y Providencia, tal es el caso del huracán Joan en 1988 (ver descripción en *Henríquez, 2005*) y del huracán Cesar en 1996, sistemas que se trasladaron muy al sur en el mar Caribe y afectaron directamente la parte continental e insular del país.

Al dar una mirada a la historia de los desastres naturales más destacados en Colombia en un período de 30 años presentada por *Hermelín (2005:15)* se puede constatar que de 19 eventos, 7 son de remoción en masa, torrenciales o avenidas o inundaciones; de estos últimos, 4 (un poco más del 50%) ocurrieron bajo condiciones La Niña: deslizamiento de Quebradablanca (Cundinamarca) en 1974, las extraordinarias

inundaciones y la actividad de huracanes de 1988, la avalancha de San Carlos (Antioquia) en 1990 (año post-Niña), y, finalmente, la avenida torrencial de La Estrella (Antioquia), en el 2000. Además de los reportados por *Hermelín (2005)*, han sido documentados otros eventos de remoción en masa ocurridos en el evento La Niña 1999-2001 (Sánchez, 2000). También están asociadas a los eventos La Niña, las inundaciones catastróficas recurrentes en el valle del río Cauca (departamentos de Cauca y Valle), del Medio-Bajo y Bajo Magdalena, del Sinú y San Jorge.

Finalmente, es conveniente llamar a la reflexión al hecho de que generalmente se afirma, que las anomalías asociadas al fenómeno de El Niño generan pocos daños a la infraestructura y con tal argumento se asegura que las condiciones anómalas asociadas a este fenómeno, son menos desastrosas que las relacionadas con La Niña. No obstante, las pérdidas ocasionadas por el fenómeno de El Niño son inmensas, por cuanto también generan daño a ecosistemas, viviendas y otros elementos de la infraestructura, que son afectados directamente por los incendios de cobertura vegetal, los cuales son muy frecuentes en las condiciones secas. De otra parte, no hay que olvidar que bajo condiciones El Niño, también ocurren lluvias abundantes y/o intensas en los piedemontes oriental (Llanero, amazónico y de Catatumbo) y occidental (vertiente del Pacífico), que producen daños de gran magnitud en la infraestructura de la región y en algunos casos, cobran víctimas humanas. Es necesario mencionar que en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental y en los piedemontes amazónico y llanero, los eventos de remoción en masa son frecuentes bajo condiciones El Niño, lo cual históricamente ha causado desastres y ha afectado las vías que conectan estas regiones con la parte interandina del país. Tal vez la inundación de Bagadó (Chocó) ocurrida en 1994 y reportada por *Hermelín (2005)* corresponde a un año El Niño.

Arriba ya se ha hablado, en términos económicos, acerca de daños y pérdidas en los principales sectores socioeconómicos; se podría continuar enunciando aún más. No obstante, no se ha mencionado el componente humano del impacto directo en las personas, familias y hogares. El desastre como tal, no es solo la magnitud de las pérdidas socioeconómicas o los daños en la infraestructura, sino que involucra además, la dimensión humana expresada en las víctimas, en hogares afectados o damnificados, en el hambre, en los problemas de salud, en el desplazamiento, en los brotes de delincuencia y violencia, en la desesperación de una sociedad, representada en los organismos del Estado, con la responsabilidad de; aliviar el angustioso drama que vive la población.

La magnitud del desastre que generan las anomalías asociadas al fenómeno de El Niño, que generalmente produce sequía e incendios de cobertura vegetal y proliferación de insectos (plagas de cultivos o vectores de enfermedades), se puede dimensionar a partir de las crónicas sobre lo acontecido con motivo de los eventos de 1925 (*Ramos-Gómez, 2000*), 1940 (ver, por ejemplo, *Osorio, 2007, 2008*, para Bogotá), 1991-1992 (*HIMAT, 1992*), 1997-1998 (*CAF, 2000*) y el más reciente el 2009-2010.

*Ramos-Gómez (2000)* describe dentro de la cadena de consecuencias en el ámbito productivo, económico, social y político generadas por el evento El Niño de 1925, la incalculable desolación que invadió a la clase trabajadora, tanto urbana como rural, al ver asolados los campos por la miseria a falta de agua, lo cual dio origen a una crítica escasez de alimentos, y a la búsqueda de trabajo en otros frentes laborales, que generó en consecuencia, un éxodo de trabajadores hacia otras regiones. La ley de emergencia publicada como consecuencia de la situación, generó la apertura a mercados foráneos que invadieron el nuestro con productos agrícolas de la canasta familiar, lo cual hundió el campo en una de sus peores crisis.

Por su parte *Osorio (2007)* menciona que la sequía presentada en 1940 colapsó prácticamente el acueducto de Bogotá con el consecuente impacto para la sociedad, que se vio sometida al razonamiento del preciado líquido. La reducción de las lluvias durante los eventos cálidos impacta además de las actividades productivas, a la población de una manera crítica, al reducir la oferta de agua para consumo humano, creando problemas directos en la alimentación y en la salud pública, en general.

Estas dos referencias son apenas una pequeña muestra de la dimensión de los desastres, traducidos en tragedia humana y social, que experimentan diversas regiones del país ante las anomalías climáticas derivadas de los fenómenos El Niño y La Niña.

## **9.7. El impacto en los indicadores económicos nacionales**

A través de los impactos sectoriales y territoriales, los fenómenos de El Niño y de La Niña han traído para el país consecuencias negativas al sistema socioeconómico colombiano.

Un estudio efectuado por *Caicedo (2007)* estableció que los fenómenos de El Niño han estado asociados a incrementos transitorios del precio relativo de los alimentos, lo que incide de forma muy importante en el comportamiento de la inflación. En ese estudio se reporta que en el período 1960-2005 la inflación promedio, en años sin fenómeno El Niño es del 15% mientras que para años El Niño es de 19,5%.

Retrocediendo en el siglo XX, es posible encontrar el evento El Niño de 1925-1926, que causó una de las sequías más impactantes en Colombia (ver *Ramos-Gómez, 2000; Barrero, 2008*), lo cual según el análisis de Ramos-Gómez, fue uno de los factores de peso en la determinación de los procesos políticos de Colombia, que se desarrollaron a finales del decenio de los 20s y a comienzos de los 30s.

Como ya se mencionó anteriormente, según diversas estimaciones, el daño total del evento de 1991-1992 se acercó a los tres mil millones de dólares americanos y el de 1997-1998 llegó cerca, a los 580 millones de dólares americanos. En la Figura 7.2 se presenta resumidamente los resultados de un estudio de evaluación efectuado

por la CEPAL para la Corporación Andina de Fomento sobre los daños causados por el fenómeno El Niño de 1997-1998. Aquí es posible apreciar que, aunque en el ámbito regional los daños no son los mayores, los mismos producen un notorio efecto negativo en los indicadores macroeconómicos de Colombia. Así, las pérdidas de 560 millones de dólares americanos causadas por el evento 1997-1998 que constituyeron el 0.6 del PIB, afectó el crecimiento económico en -0,6.

Para el evento de La Niña 2010-2012, según CEPAL (2012), las pérdidas generadas al país (cerca de 2,1 billones de pesos colombianos o alrededor de 1200 millones de dólares estadounidenses) representaron el 0,4% del PIB nacional. Durante 2010-2011 los sectores más afectados fueron el agropecuario, con pérdidas de 764.000 millones de pesos y el minero, con 608.000 millones, lo que representa respectivamente el 36,8% y 29,3% de las pérdidas totales o el 2,1% y el 1,4% del PIB, de cada uno de estos sectores. Adicionalmente a las pérdidas, CEPAL (2012) reporta que la anomalía climática trajo daños por más de 11,2 billones de pesos colombianos (6.052 millones de dólares estadounidenses), causados principalmente en la vivienda (38% del total de los daños) e infraestructura, lo que significa un 5,7% de la formación bruta de capital fijo anual. Es importante mencionar que las pérdidas del evento 2010-2012 fueron mayores a las reportadas por el reporte de la CEPAL (2012); este último resumió el período octubre/2010 y mayo/2011, sin embargo en el segundo semestre de 2012 el fenómeno La Niña continuaba y la anomalía hidroclimática sobre el territorio colombiano aún era bastante marcada y devastadora.

## Referencias Bibliográficas

- Baldión-Rincón J.V., Guzmán-Martínez O., 1994: Condiciones climáticas en la zona cafetera en los años 1991, 1992 y 1993 y su influencia en las cosechas de café. *Cenicafé Avances Técnicos*. No. 203, 8 p.
- Barrero A., 2008: Análisis de la sequía histórica de 1925-1926. *Rev. Meteorología Colombiana*, No. 9, pp
- Cadena M.C., Pabón J.D, Devis A., Málikov I., Reyna-Moreno J.A., Ortiz J.R., 2006: Relationship between the 1997/1998 El Niño and 1999/2001 La Niña events and oil palm tree production in Tumaco, Southwestern Colombia. *Advances in Geophysics*, v. 25, No. 4, pp.46-62.
- Cadena M.C., Devis A., Málikov I., Ortiz J.R., Pabón J.D., 2004: Eventos ENOS y su relación con el clima y la producción de palma de aceite. *Palmas*, v. 25, No. 4, pp.46-62.
- CAF, 2000: Las lecciones de El Niño. Memorias del fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y propuestas para la región Andina. Volumen III: Colombia. Corporación Andina de Fomento (CAF). Caracas. Ex Libris, 242 p.
- Caicedo E., 2007: El fenómeno El Niño y su posible impacto en Colombia. Reportes *del Emisor. Investigación e Información Económica*, No. 92, pp. 1-4.

- CEPAL, 2012: Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia 2010-2011. Banco Interamericano de Desarrollo – Comisión Económica para América Latina y Caribe. Bogotá D.C., 240 páginas
- CONALGODON, 2006: Desempeño Sector Algodonero 2005 y perspectivas 2006. Cosecha Costa-Llanos 2004/2005, interior 2005 y entorno internacional. Unidad Estadística y Análisis Económico de la Confederación Colombiana del Algodón – CONALGODON, Bogotá D.C., 21 páginas.
- CREG, 2010: Resolución 22 de 2010 de la comisión de regulación de energía y gas (CREG). *Diario Oficial* No. 47.634 de 25 de febrero de 2010.
- DEA-SAC, 1999a: Inflación, alimentos y sector agropecuario. *Revista Nacional de Agricultura*, No. 926-927, pp. 163-184.
- DEA-SAC, 1999b: Coyuntura agroeconómica 1998-1999. *Revista Nacional de Agricultura*, No. 924-925, pp. 8-41.
- De la Hoz F., Padilla C., Cuevas H., Pabón J.D., 1996: El Niño-Oscilación del sur y su relación con la incidencia de malaria en Colombia. *Informe Quincenal Epidemiológico Nacional*, v. 1(3), pp. 30-33.
- Departamento de Geografía – Universidad Nacional de Colombia, 2006: Variabilidad climática y cambio climático en el sistema Chingaza. Informe de consultoría presentado a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Grupo de Investigación “Tiempo, clima y sociedad”, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 98 páginas.
- DNP, 1997: Orientación para Prevenir y Mitigar los Posibles Efectos del Fenómeno El Niño 1997-1998”. Doc. CONPES 2948. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Bogotá, agosto de 1997.
- DNP, 1998: “Seguimiento a las Acciones Adelantadas para Mitigar los Efectos del Fenómeno del Pacífico (El Niño) previstas en el CONPES 2948 “. Doc. CONPES 2985. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Bogotá, febrero 1998
- Fernández M.E., 2009: El efecto del fenómeno El Niño en el agroecosistema de papa en el Altiplano Cundiboyacense Tesis de Maestría en Ciencias Meteorología, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 107 páginas.
- Gagnon A.S., Bush A.B.G., Smoyer-Tomic K.E., 2001: Dengue Epidemics and El Niño Southern Oscillation. *Climate Research*, v. 19, pp. 35-43.
- García J.A., 2004: Relaciones entre la aparición de casos de malaria y el clima en Colombia. *Innovación y Ciencia*, v XI, No. 3-4, pp.68-73.
- Giraldo G., Cuevas H., Pabón, J.D., Padilla J.C., 1999: Comportamiento del dengue clásico asociado con la temperatura superficial del mar como indicador del ciclo ENOS en Colombia, 1980-1998. *Informe Quincenal Epidemiológico Nacional* (Santafé de Bogotá). Vol. 04, No. 21, Nov. 1999, pp. 322-327.

- González J.M, Olano V, Vergara J, Arévalo-Herrera M, Carrasquilla G, Herrera S, López J.A, 1997: Unstable, low-level transmission of malaria on the Colombian Pacific Coast. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* v. **91**, pp: 349-58.
- Guarín-Giraldo G.W., 2011: Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 150 páginas <http://www.bdigital.unal.edu.co/4643/#sthash.KG1Me6BG.dpuf>
- Guzmán-Martínez O., Baldión-Rincón J.V., 1997: El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, v. 48 (3), pp.141-155.
- IDEAM-DPAD, 2002: Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Publicación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y de la Dirección para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá D.C., 52 p.
- MADR-OAC, 2005: La cadena del arroz en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Observatorio Agro cadenas Colombia, Documento de Trabajo No. 52. Bogotá, 38p. (Versión electrónica en [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2005112141728\\_caracterizacion\\_arroz.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112141728_caracterizacion_arroz.pdf))
- MADR-OAC, 2005: La cadena de algodón en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Observatorio Agro cadenas Colombia, Documento de Trabajo No. 53. Bogotá, 46p. (Versión electrónica en: [http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/1091/1/200511213755\\_caracterizacion\\_algodon.pdf](http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/1091/1/200511213755_caracterizacion_algodon.pdf))
- OPS, 2008: Situación invernal. Departamentos de Chocó Cauca, Huila, Valle del Cauca, Nariño y Norte de Santander. Informe de la Organización Panamericana de la Salud. No. 1, 2 páginas
- Pabón J.D., 1990: Efecto climático del fenómeno El Niño en el suroccidente colombiano. En: Memorias del IV Congreso Inter-Americano y II Colombiano de Meteorología (17-21 de septiembre de 1990, Bogotá), pp. 161-168.
- Pabón J.D., 2003: Fenómeno El Niño: efectos e impactos en el Pacífico colombiano. En: El Mundo marino de Colombia investigación y desarrollo de territorios olvidados Red de Estudios del Mundo Marino – REMAR, Universidad Nacional de Colombia, pp.64-74.
- Pabón J.D., Nichols S., 2005: El cambio climático y la salud humana. *Biomédica*, v 25, No. 1, pp: 5-8.
- Pabón J.D., Torres G.S., 2007: Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía*, v. 16, pp. 81–94.
- Porras A., de la Hoz F., Velandia M.P., Olano V.A., Cáceres D.C., Rojas L.J., Murillo Z.P., Mendoza M., García M., Nicholls S., Montoya R., Pinzón E., Bruzón L., Burbano M.E., Mendoza E., Riaño U., 2001: Epidemia de malaria en La Guajira, enero a noviembre del 2000. *Inf Quinc Epidemiol Nac.*, 6(14), pp.:205-220

- Poveda G., Rojas W., 1997: Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el Fenómeno El Niño - Oscilación del Sur. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales*, v. XXI, No. 81, pp. 421-130.
- Poveda G., Graham N.E., Epstein P.R., Rojas W., Vélez I.D., Quiñones M.L., Martens P., 1999: Climate and ENSO variability associated to malaria and dengue fever in Colombia. In: 10th Symposium on Global Change Studies, Dallas, January 10–15. American Meteorological Society, Boston, p 173–176
- Poveda G, Rojas W, Quiñones ML, Vélez ID, Mantilla RI, Ruíz D et al., 2001: Coupling between annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia. *Environ Health Perspec*, v. 5 pp.: 489-93.
- Ruiz D., Poveda G., Vélez I.D., Quiñonez M.L., Rúa G.L., Velázquez L.E., Zuluaga J.S., 2006: Modelling entomological-climatic intercation of Plasmodium falciparum malaria transmisión in two Colombian endemic regions: Contribution to a National Malaria Early Warning System. *Malaria Journal*, 5:66 [doi: 10.1186/1475-2875-5-66]
- Ruiz-Cabarcas A.C., Pabón J.D., 2013: Efecto de los fenómenos de El Niño y de La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia)”. *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, v 22 (2), pp. 35-54
- Salud Colombia, La Revista. Public Health Journal on the Net. 45a. Edición Feb 16 a Mar.15 2000: “Demostrada asociación del Dengue con fenómeno del Niño”. En <http://www.saludcolombia.com/actual/salud45/noticia45.htm>
- SAC, 1997: Impactos previsibles del fenómeno del Pacífico sobre el Sector Agropecuario Colombiano y recomendaciones de medidas. *Revista Nacional de Agricultura*, No. 920-921, pp. 187-198.
- SAC, 2009: Balance del sector agropecuario en 2008 y perspectivas 2009. *Revista Nacional de Agricultura*, No. 952, pp. 18-27.
- SSPD, 2007: Medidas preventivas y contingentes para asegurar la calidad y continuidad en la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado. Superintendencia de Servicios públicos Domiciliarios, Circular Externa SSPD-000003 de 2007, abril 16. Diario Oficial 46.602.
- SSPD, 2010: El fenómeno El Niño y la escasez de hidroelectricidad afectan las tarifas de energía en el Cauca. Comunicado de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 18 de febrero 2010. ([http://www.superservicios.gov.co/home/c/document\\_library/get\\_file?uuid=972dfda5-b995-43d9-9ea3-248f2b373153ygroupId=10122](http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=972dfda5-b995-43d9-9ea3-248f2b373153ygroupId=10122))
- Villareal J.E., Córdoba M.J., 2008: Incentivos y estructura del nuevo cargo por confiabilidad en el sector eléctrico en Colombia. *Revista Ingeniería e Investigación*, v. 28, No.3, pp.105-115.

## GLOSARIO

- **Advección:** Transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de velocidad de la atmósfera. Por lo general este término se refiere al transporte horizontal de propiedades calor, masa (humedad del aire) y momento o cantidad de movimiento.
- **Albedo:** Es la representación de la capacidad de una superficie de reflejar la radiación que incide sobre ella. Se obtiene dividiendo la cantidad de energía reflejada sobre la incidente (que llega) y se puede presentar en términos absolutos (un valor entre 0 y 1) o en porcentaje (entre 0 y 100). Dos casos extremos ideales: albedo 0 le correspondería a una superficie que no refleja (cuerpo absolutamente negro); albedo 1 (o 100%) indica que la superficie lo refleja todo. El planeta Tierra tiene un albedo promedio de aproximadamente 0,3 o sea que refleja el 30% de la radiación solar que le llega. (Hay que tener en cuenta que reflejar radiación es diferente a emitir radiación; en el caso del albedo se tiene en cuenta es la radiación reflejada).
- **Anomalía climática:** La anomalía climática es una alteración de la norma y se cuantifica mediante la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o norma de la variable climática correspondiente en un lugar dado.
- **Balance Hídrico:** Corresponde a la diferencia entre los aportes de agua que ingresan a un sistema (Cuenca hidrográfica, embalse, lago natural) y las pérdidas que se registran en el mismo, en un intervalo de tiempo determinado. Los aportes de agua se efectúan gracias a las precipitaciones. Las salidas se deben esencialmente a la evapotranspiración (combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas), a la infiltración en el suelo y a lo que escurre sobre la superficie (escorrentía). Estas variables se valoran en términos de la cantidad de agua por unidad de superficie, generalmente en altura de la lámina de agua; la unidad más utilizada es el milímetro.
- **Cambio Climático:** Modificación de largo plazo de los patrones (distribución espacial, ciclo anual, amplitud, frecuencia de fenómenos meteorológicos

extremos) observados en el clima durante largos periodos (siglos, milenios, etc).

- **Celdas de Hadley:** Dos circuitos verticales que se forman por la circulación meridional (sur-norte o norte sur) de Hadley.
- **Celdas de Walker:** Los circuitos verticales que se forman por la circulación zonal (oriente-occidente o viciversa) de Walker.
- **Circulación de Hadley:** Circulación meridional (sur-norte o norte sur) de la atmósfera ecuatorial y tropical conformada por el ascenso de aire en el Ecuador debido a la convergencia del flujo de los alisios del Noreste y del Sureste en la troposfera inferior (Zona de Confluencia Intertropical), la divergencia de los contralisios en la troposfera superior y por la subsidencia en la zona subtropical (entre 20-30° de latitud en ambos hemisferios).
- **Circulación de Walker:** Circulación zonal (por los paralelos, en el sentido oriente occidente o viciversa) en la franja tropical debida principalmente a la distribución diferenciada de la temperatura del aire en superficie. Sectores cálidos como el Pacífico occidental genera centros de baja presión, convergencia de masas de aire, movimientos verticales, nubosidad convectiva y lluvias, en tanto que zonas frías como el Pacífico oriental propician alta presión, subsidencia (descenso de masas de aire) e inhiben la convección y producción de precipitación.
- **Clima:** Es un factor ambiental que consiste en las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar, en una región ó en el planeta entero, durante un período determinado (meses, años, decenios, etc). Cuantitativamente se representa con los consolidados (promedio, frecuencia, amplitud) de las variables meteorológicas para un período determinado. El patrón climatológico de una región se establece con las características estadísticas de un período de por lo menos 30 años.
- **Climatología:** Ciencia dedicada al estudio del sistema climático, la dinámica del clima, distribución de los diferentes tipos de clima y las relaciones del clima con los ecosistemas y las actividades humanas.
- **Convección:** Movimiento vertical ascendente de masas de aire propiciado por su baja densidad (alta temperatura) comparada con su alrededor. Es una de las tres formas de transferencia de calor desde la superficie del suelo a la atmósfera y generadora de nubosidad de desarrollo vertical y lluvias intensas.
- **Convergencia:** Zona donde confluyen los vientos. Si ocurre en la atmósfera cerca de la superficie terrestre, genera movimientos convectivos (ascenso del aire) que propician el desarrollo de nubosidad pluviogénica.

- **Divergencia:** Área en la que difluyen los vientos. En la capa atmosférica cercana a la superficie terrestre produce subsidencia (movimientos verticales descendentes) y condiciones atmosféricas con cielo despejado y escasas lluvias.
- **Efecto invernadero:** Propiedad que tiene la atmósfera de retener parte de la radiación de onda larga que la superficie terrestre emite hacia el espacio, la cual se debe a que algunos gases de los que componen el aire (vapor de agua, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, otros), conocidos como gases de efecto invernadero, no son transparentes a esta radiación. La temperatura media global de la atmósfera es de aproximadamente 15°C gracias al efecto invernadero; si no existiera este efecto, la temperatura estaría entre -23 y -18°C.
- **El Niño modoki:** Situación en la que el calentamiento anómalo del Pacífico tropical se focaliza en el sector central (entre 120°W y 180°W).
- **ENOS (ENSO en inglés):** Es la sigla que sintetiza los fenómenos de El Niño y la Oscilación del Sur, donde el Niño es la componente oceánica y la Oscilación del Sur, la atmosférica del fenómeno.
- **Estabilidad atmosférica:** Condición de estratificación termodinámica de la atmósfera que se opone al desarrollo de nubes de los géneros cúmulo y cumulonimbos y por ende suprime la generación de precipitación. Se caracteriza por estados del cielo despejados o con presencia de nubes estratiformes
- **Evento Cálido:** Se refiere a las condiciones anómalas reflejadas en la temperatura superficial del mar, en el Centro y Este del Pacífico Ecuatorial. Dicho término está siendo usado para generalizar condiciones tipo El Niño.
- **Evento Frío:** Es aquel donde la temperatura superficial del mar se torna anómalamente fría comparada con el promedio de largo término para la región ecuatorial central y oriental de Pacífico Ecuatorial (es el opuesto al evento Cálido en la región).
- **Fenómeno de El Niño:** término usado originalmente para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales más cálidas que lo normal en la región del Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical.
- **Fenómeno de La Niña:** se refiere a las condiciones frías extremas que recurrentemente, pero de manera irregular, se presentan en el sector central y oriental del Pacífico tropical (es el opuesto a las condiciones El Niño), durante

por lo menos seis meses. Dicho enfriamiento de la superficie del mar cubre grandes extensiones de la superficie de este océano y por su magnitud altera sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta.

- **Gradiente de presión:** La presión atmosférica se distribuye de manera desigual por la superficie de nuestro planeta. La diferencia de la presión atmosférica dividida en la unidad de la distancia en la que ocurre esta diferencia se llama gradiente de presión (puede ser horizontal y vertical).
- **Inestabilidad atmosférica:** Estratificación termodinámica de la atmósfera que impulsa la convección (movimientos verticales ascendentes), la generación de nubosidad y precipitación intensa.
- **La Niña modoki:** Situación en la que el enfriamiento anómalo del Pacífico tropical se focaliza en el sector central (entre 120°W y 180°W).
- **Meteorología:** Ciencia que estudia la atmósfera de La Tierra, su composición, estructura, dinámica y la influencia de los fenómenos atmosféricos en las actividades humanas.
- **Norma climática:** La norma climática es la valoración de las condiciones predominantes o patrones establecidos durante un período y cuantitativamente se representa con características estadísticas (promedio, varianza, frecuencia) de una serie continua de datos de observaciones o mediciones de una variable climatológica (temperatura, humedad, precipitación, etc) para un periodo de por lo menos 30 años.
- **Ondas de Madden-Julian:** Fluctuaciones en el campo de la presión atmosférica y en el viento de la atmósfera tropical muy marcadas en la troposfera sobre el Océano Índico y el Pacífico occidental y que presentan un período de 30-60 días (también las denominan Oscilación de Madden-Julian u Oscilación de 30-60 días), se desplazan de occidente a oriente y generan fluctuaciones en las variables climatológicas como la nubosidad (principalmente la de tipo convectivo) y la precipitación de las regiones sobre las cuales se desplazan.
- **Ondas Kelvin:** Ondas en la interface entre dos fluidos (océano y atmósfera) o en la división de capas de un fluido (capa de mezcla y termoclina, en el océano) que se desplazan por los bordes en donde son contenidos (costas; el Ecuador pueda actuar como borde o guía de onda). En el primer caso, son ondas que se notan en la superficie del océano, las cuales tienen una gran longitud (cientos de kilómetros), una altura de 30-40 centímetros y la dirección de su desplazamiento está marcado por la fuerza de Coriolis. En la dinámica oceánica asociada a los fenómenos de El Niño y de La Niña se destacan la onda Kelvin ecuatorial que se desplaza por la franja ecuatorial del Pacífico

occidental hacia la costa Sudamericana y las ondas Kelvin costeras que se desplazan por la costa Sudamericana hacia el norte y hacia al sur.

- **Ondas Rossby:** Ondulaciones en el medio atmosférico y oceánico de escala planetaria (miles de kilómetros de longitud). En la atmósfera se presenta como meandros en la circulación atmosférica de la troposfera superior en donde se encuentra la corriente chorro; son el producto de la gran diferencia de velocidades entre el eje y la periferia de la corriente chorro, también se inducen por el contraste océano-continente y por los grandes sistemas orográficos; dependiendo de la longitud de la onda se pueden desplazar hacia el Este o al Oeste. En el océano, las ondas Rossby se observan como ondulaciones extensas (cientos de kilómetros) en la altura de la superficie (o topografía de la superficie) y en el espesor de la capa superior del océano (denominada capa de mezcla) y se generan por tensión del viento sobre la superficie.
- **Oscilación del Sur:** Variación interanual (de año en año) en el campo bórico del Pacífico tropical generada por los fenómenos de El Niño y de La Niña. Durante los años La Niña la presión atmosférica es mayor en el Pacífico tropical oriental que en el centro-oriental y durante El Niño la situación es inversa. La Oscilación de Sur produce a su vez fluctuación de la circulación atmosférica (de Hadley y de Walker) a través de la cual los fenómenos de El Niño y de La Niña generan anomalías climáticas en regiones remotas.
- **Precipitación:** Cantidad total de agua, líquida o sólida, que alcanza la superficie de La Tierra (suelo en el continente, agua en el océano) durante un determinado período de tiempo y se expresa por la altura (en milímetros) de la lámina de agua que cubriría el suelo supuesto perfectamente horizontal y si no hubiese pérdidas por infiltración o por evaporación. Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie.
- **Predicción climática:** Establecimiento de las condiciones climáticas con anticipación de un mes, una estación (tres-cuatro meses), o hasta un año.
- **Presión atmosférica:** Es la fuerza que la atmósfera ejerce, en razón de su peso, sobre una superficie. Por consiguiente, es igual al peso (expresado en hectopascales o milibares) de una columna vertical de aire que se extiende desde la superficie al límite superior de la atmósfera.
- **Pronóstico del tiempo:** se refiere específicamente a la determinación de la evolución futura del estado de la atmósfera en lapsos de horas y días subsiguientes.
- **Tiempo atmosférico:** Es el estado de la atmósfera en un momento determinado. Cuando se habla del estado tiempo se hace referencia a las situaciones (cálidas

ó frías, secas ó húmedas, de cielo nublado o despejado) observadas en ese instante.

- **Temperatura:** Es la medida de la energía cinética media (nivel de agitación) de las moléculas del aire alrededor del termómetro. Es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y La Tierra
- **Subsidencia:** Movimiento descendente de una capa de aire sobre una extensa zona, este fenómeno provoca estabilidad en la atmósfera, supresión de nubosidad y precipitación.
- **Variabilidad climática:** Fluctuación de las condiciones atmosféricas predominantes (clima) alrededor de la norma dentro de rangos establecidos para los procesos en el sistema climático. Se determina mediante el análisis de la secuencia de anomalías climáticas.
- **Vientos Alisios:** (o Alisios) Sistema de vientos relativamente persistentes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde aproximadamente los 20° de latitud (Norte o Sur) hacia el Ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur.
- **Zona de Convergencia Intertropical:** Es la franja en donde confluyen los vientos alisios del noreste y del sureste (que soplan al lado y lado del Ecuador).



ISBN 978-958-9205-93-8

