

Anexo del Informe Técnico: Elaboración de un boletín con información hidroclimática de los mares de México

INDICADORES CLIMATICOS. Una manera para identificar la variabilidad climática a escala global

Ma. del Carmen Jiménez Quiroz

Presentación

Este es un texto introductorio en el que se describe el significado de los índices climáticos, la región que afectan, cuales son aquellos que inciden en los mares mexicanos y su variabilidad a partir de la década de los años cincuenta. Estos valores se emplean para describir el estado y los cambios en el sistema climático por lo que permiten discernir el efecto de las variaciones de escala sinóptica y global en los sistemas locales; por otra parte, con estos datos se realizan análisis estadísticos tales como la comparación de series de tiempo, la estimación de medias y la identificación de valores extremos y tendencias. Los índices son auxiliares valiosos para entender las condiciones del hábitat por lo que es conveniente que se integren al conjunto de herramientas con que trabajan los investigadores de INAPESCA para explicar algunos aspectos de la dinámica poblacional de los organismos que conforman los recursos pesqueros.

Contenido

Elementos del clima e índices climáticos	4
Periodo base.....	5
Índices climáticos basados en la temperatura del aire.....	5
Índices climáticos de precipitación	5
Índices climáticos basados en la presión atmosférica	6
La Oscilación Ártica (AO)	6
La Oscilación Antártica (AAO).....	7
La Oscilación del Atlántico Norte (NAO).....	7
¿Cómo afecta a México?	9
¿Qué ha ocurrido en los últimos años?.....	10
Patrón Pacífico Norte América (PNA).....	11
Índice de la Oscilación del Sur (SOI).....	12
Índices climáticos basados en la temperatura superficial del mar (océano Atlántico).....	13
Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)	13
Índice del Caribe (CAR).....	14
Índice del Noratlántico Tropical (NTA).....	15
Índices climáticos basados en la temperatura superficial del mar (océano Pacífico).....	16
Oscilación del Pacífico Norte (PDO)	16
Índice de El Niño Oceánico (ONI).....	17
El Niño y La Niña.....	18
¿Qué son El Niño y La Niña?.....	18
¿Cómo identificar a El Niño y La Niña?	20
¿Qué ocurre en México?.....	21
¿Cuáles son los indicadores climáticos de El Niño?	22
Variabilidad en el periodo 1950-2012.....	24
Literatura citada.....	25
Otras páginas de interés.....	27

INDICES CLIMÁTICOS

¿Qué son?

Un índice climático es un valor que puede ser usado para describir el estado y los cambios en el sistema climático (Fig. 1). El clima de un sitio en particular es el estado promedio de la atmósfera durante un periodo prolongado de tiempo por lo que los cambios en el clima son mucho más lentos que los del estado del tiempo ya que éste puede cambiar bruscamente día con día. Los primeros índices climáticos se definieron hace aproximadamente un siglo, como es el caso de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), el primer patrón de teleconexión¹ detectado. Los índices climáticos permiten realizar análisis estadísticos tales como la comparación de series de tiempo, la estimación de medias y la identificación de valores extremos y tendencias².

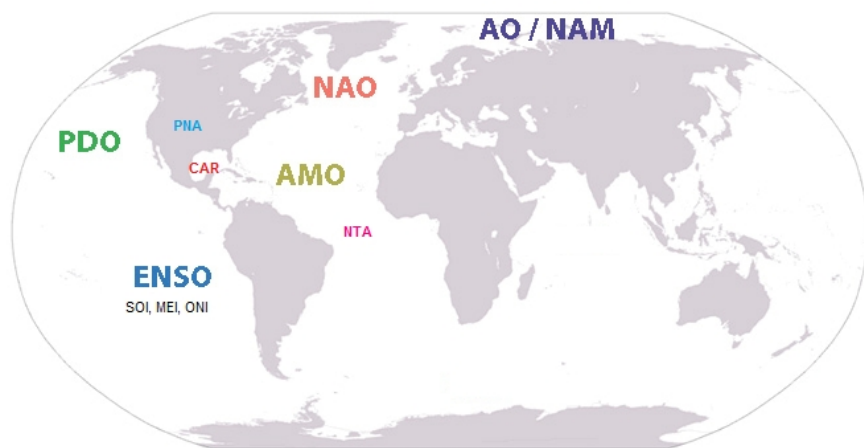


Fig. 1 En el mapamundi se muestra la ubicación geográfica de algunos de los índices más utilizados. En el texto se describe cada uno de ellos.

Elementos del clima e índices climáticos

Existe una amplia variedad de indicadores descritos en la literatura porque cada uno de ellos se basa en determinadas variables y describe solo ciertos aspectos del clima; por otro lado, cada uno de ellos es definido por una ecuación que utiliza variables que son determinantes en el sistema climático ya sea de tipo atmosférico, como la presión, la temperatura, la precipitación y la radiación solar, o de otro tipo, como la temperatura superficial marina o la cobertura de hielo.

¹ Las teleconexiones son correlaciones significativas entre fluctuaciones simultáneas que ocurren entre variables meteorológicas de áreas geográficas separadas (Wallace y Guntzler, 1981). Glantz et al. (1991) las describen como “interacciones atmosféricas entre áreas ampliamente separadas”.

² Adaptación del texto publicado por el Integrated Climate Data Center de Klima Campus, de la Universidad de Hamburgo. http://icdc.zmaw.de/climate_indices.html?&L=1

Los índices climáticos más simples son los valores promedio y extremos, las tendencias lineales y las desviaciones estándar de series de tiempo prolongadas de la(s) variable(s) de interés. Los índices climáticos basados en la temperatura del aire y la precipitación se calculan a partir de datos medidos durante largo tiempo y aunque los resultados corresponden a una localidad en particular, es posible, dependiendo de la homogeneidad del medio, extrapolarlos a áreas más extensas. Sin embargo, hay información, como la temperatura mínima o los eventos de lluvia, que es característica de áreas pequeñas y altamente variables por lo que no puede extrapolarse.

Los índices climáticos más comunes se elaboran a partir de la presión atmosférica y a diferencia de los descritos en el párrafo anterior, están basados en los gradientes de presión que existen entre dos o más localidades, por lo que se requieren registros de, al menos, dos estaciones meteorológicas. Lo mismo aplica a la temperatura superficial.

Periodo base

Para calcular algunos índices se utiliza un “periodo base”, el cual es un intervalo de referencia que abarca 30 años de datos, según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés); cabe señalar que: 1) para que los resultados sean comparables deben estar referidos al mismo periodo base; 2) que el utilizado con más frecuencia abarca de 1961 a 1990 y que 3) al promedio se le denomina “normal”. Sin embargo, es posible obtener valores representativos con intervalos menores (10 años por ejemplo), denominados “normales operativas”, aunque solo pueden ser utilizados para contrastar los datos dentro de ese mismo intervalo (Trewin, 2007).

Índices climáticos basados en la temperatura del aire

La temperatura del aire o ambiental se mide diariamente a intervalos regulares, generalmente a una altura de 2 m sobre el nivel de la superficie. Además de los registros normales de temperatura y de los valores diarios mínimo y máximo, para elaborar los índices climáticos también se utilizan: la cantidad de días con hielo y escarcha, la cantidad de días y noches en que las condiciones son tropicales durante el verano, los valores extremos durante un periodo determinado, los registros que exceden un valor específico (percentiles), la oscilación diaria de temperatura, el grado de calentamiento diario y el periodo de tiempo durante el que la temperatura es superior o inferior a un determinado valor.

Índices climáticos de precipitación

La evaluación de la precipitación, como la de temperatura, se inició cuando empezó a registrarse el estado del tiempo. Después de algunos desarrollos técnicos, también se midió la duración de los eventos de precipitación, tanto de lluvia como de nieve o aguanieve. Los índices empleados con más frecuencia son: la fecha y periodo de los cinco días en que se registró la máxima precipitación del año, los índices simples de intensidad de la precipitación, la cantidad de días en que la precipitación excedió un determinado valor

durante el año, la precipitación anual total que supera un determinado valor (percentil) y la precipitación anual total.

Índices climáticos basados en la presión atmosférica

Cuando la mayoría de los meteorólogos hace mención de los índices climáticos se refiere a los patrones de teleconexión asociados con las variaciones de la presión atmosférica entre dos puntos de la tierra. En la literatura estos eventos se denominan como “subibajas” o “seesaw” ya que es usual que en uno de los extremos la presión sea elevada, mientras que en el otro ocurra lo contrario. Los patrones típicos son:

La Oscilación Ártica (AO)

Esta oscilación también es conocida como el Modo Anular del Norte (NAM por sus siglas en inglés) y es el patrón dominante de las variaciones no estacionales de la presión atmosférica al nivel del mar al norte del paralelo 20° N. La AO se caracteriza por la presencia de anomalías (ya sean positivas o negativas) en el Ártico, y anomalías de magnitud opuesta cerca de los paralelos 37-45° N. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) tiene una relación estrecha con la AO y hay una fuerte discusión acerca de cuál índice representa mejor la dinámica atmosférica.

Este índice (Fig. 2) es obtenido a partir del primer factor resultante de un análisis de Funciones Empíricas Ortogonales (EOF). Los patrones dominantes se calculan a partir de las anomalías mensuales calculadas para todo el año, pero dado que la variabilidad es mayor durante la temporada fría, los patrones capturan, en primera instancia, las características de ese periodo. Los índices diarios y mensuales son construidos proyectando las anomalías de las altitudes diarias y mensuales de las capas de 700 hPa o 1000 hPa en las funciones empíricas ortogonales más importantes. Las series de tiempo son normalizadas por la desviación estándar del índice mensual calculado a partir del periodo 1979-2000.

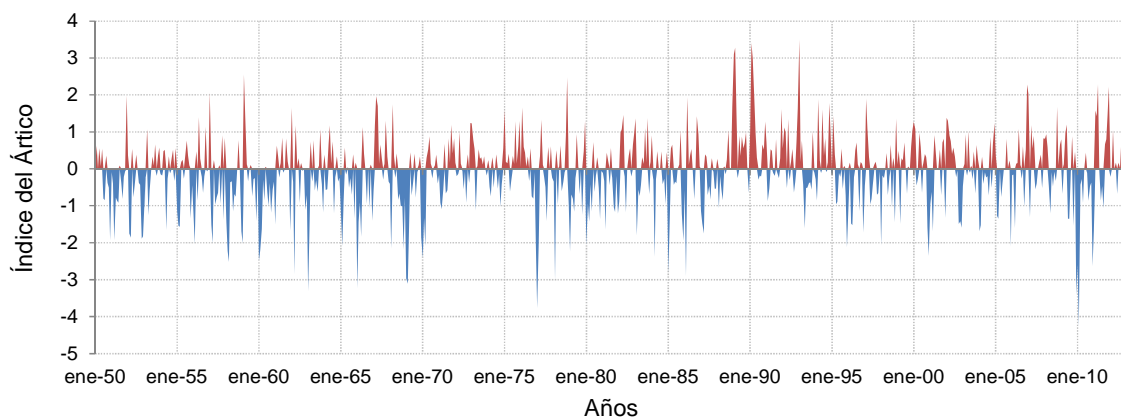


Fig. 2 Índice del Ártico. Datos tomados de la página de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration):

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii. Consultado el 2 de abril de 2013.

La extensión que el aire del Ártico llega a cubrir en las latitudes medias está relacionada con esta oscilación; así, cuando el índice AO es positivo, la presión superficial en la región polar es baja y la corriente de chorro que se presenta sobre las latitudes medias es fuerte y fluye de manera consistente de oeste a este, manteniendo el aire frío del Ártico confinado en la región polar. Por el contrario, cuando el índice es negativo, la presión atmosférica en el polo tiende a elevarse, los vientos zonales son más débiles y el frío aire polar se dirige hacia las latitudes medias, particularmente hacia el este de Norteamérica y Europa (Fig. 3).

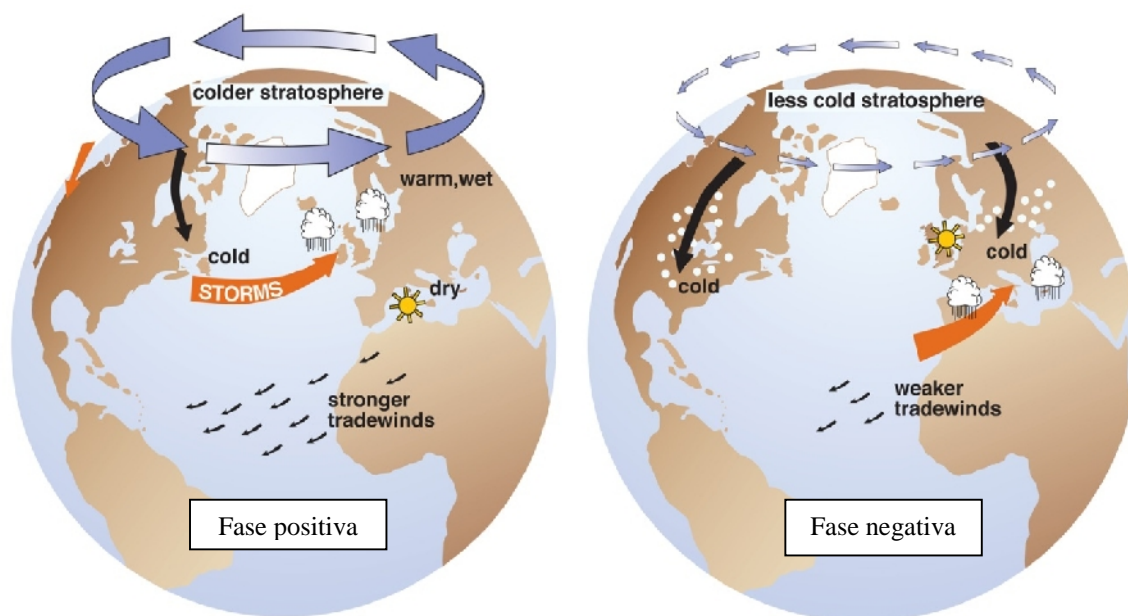


Fig. 3 La Oscilación del Ártico es determinada por los cambios en los vientos del oeste, los que a su vez dependen del contraste térmico entre el trópico y el polo norte. Se denomina como modo “anular” porque generalmente adopta un patrón circular y se produce un sube y baja entre las fases positivas y negativas que dura semanas o meses. En la fase positiva (ilustración izquierda), el círculo es más fuerte y está ubicado más al norte, lo que inhibe el desplazamiento de aire del Ártico; en contraste, durante la fase negativa (ilustración derecha) el anillo es más débil y más variable, por lo que se desplazan rachas de viento hacia el sur. Ilustración de J. Wallace, University of Washington, tomada de la página web http://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/weather_climate_patterns.html

La Oscilación Antártica (AAO)

Es una variabilidad atmosférica de baja frecuencia del hemisferio sur. También se la conoce como Modo Anular del Sur (SAM) o Modo Anular del Hemisferio Sur (SHAM).

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

Este índice describe la variabilidad de la circulación atmosférica de una amplia región que abarca desde el centro de Norteamérica hasta Europa e incluso parte del norte de Asia. La NAO se refiere a la oscilación meridional de la masa atmosférica cuyos centros de acción se encuentran cerca de Islandia y sobre las islas Azores, en el Atlántico subtropical. Este patrón de anomalías climáticas se reconoció desde el siglo pasado (Walker y Bliss, 1932) y

es más pronunciado durante el invierno cuando los patrones de teleconexión atmosférica son más fuertes. El índice varía anualmente, pero también puede permanecer en una determinada fase durante varios años.

- Fase positiva: Durante esta etapa, en el núcleo ubicado en el Atlántico subtropical la presión es más alta que lo usual, en tanto que en Islandia ocurre lo contrario; gracias a esa diferencia las tormentas invernales que cruzan el océano Atlántico son más intensas y su trayectoria se ubica más al norte que durante la fase negativa. Como resultado el invierno es más cálido y húmedo en Europa en tanto que en el norte de Canadá y Groenlandia es más frío y seco. Por otro lado, las condiciones invernales en la costa este de EEUU son más templadas y húmedas (Fig. 4).
- Fase negativa: Durante esta fase tanto la alta presión subtropical como la baja presión de Islandia están debilitadas. El gradiente de presión es pequeño por lo que las tormentas invernales que siguen una trayectoria oeste-este son más débiles. En esta etapa se arrastra aire húmedo hacia el Mediterráneo y aire frío hacia el norte de Europa, en tanto que en la costa este de EEUU se presentan más rachas de aire frío y nevadas.

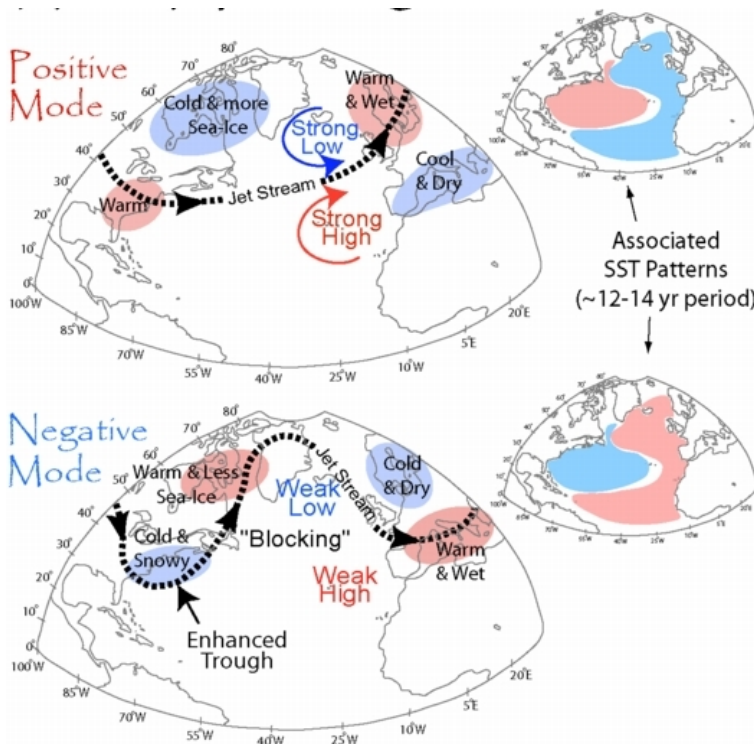


Fig. 4 Características de las fases positiva y negativa del NAO. Durante la primera, los núcleos de alta y baja presión son intensos por lo que la corriente de chorro (jet stream) limita el flujo de viento del norte y los inviernos son menos rigurosos en la costa este de EEUU y el norte de Europa; por el contrario, durante la fase negativa ambos núcleos están debilitados, lo que bloquea la corriente de chorro y disminuye la temperatura en ambas regiones. En el Golfo de México el efecto es más intenso en la costa norte. Ilustración tomada de la página web del Climate Change Research Center, University of New Hampshire (consulta junio/2013).

El índice NAO (Fig. 5) es el resultado de la diferencia entre las anomalías normalizadas de la presión al nivel del mar en localidades representativas de los núcleos de las Azores (alta presión) y de Islandia (baja presión). Actualmente se utilizan dos indicadores, el primero de ellos fue definido por Walker y Bliss (1932) y simplificado por Rogers (1984) y emplea las anomalías de Ponta Delgadas en las Azores y de Akureyri en Islandia. El segundo índice fue calculado por Hurrell (1995), quién seleccionó Lisboa (Portugal) y Stykkisholmur (Islandia) para ampliar la serie de tiempo 30 años más ya que el primero inicia en 1894.

El índice NAO fue correlacionado con las anomalías globales de la temperatura superficial de 1856 a 1991, mediante una rejilla de 5° por lado, con el propósito de determinar las áreas de mayor sensibilidad al índice³. Se seleccionaron cinco “centros de acción” (CSST) en el Atlántico Norte (CSST1 - CSST5) que una vez estandarizados, fueron utilizados para construir las series de tiempo.

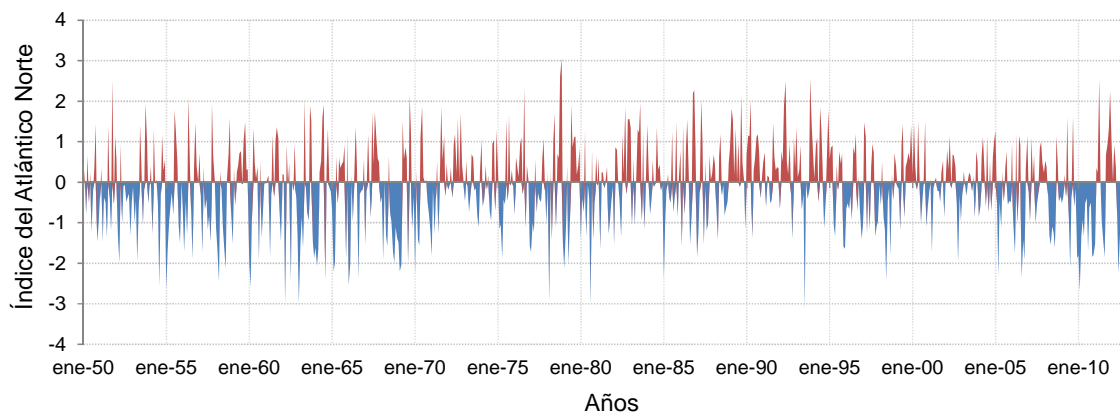


Fig. 5 Índice de la Oscilación del Atlántico Norte. Esta oscilación está muy relacionada con el Índice del Ártico. Datos obtenidos el 2 de abril de 2013 de la página: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/> for info.

¿Cómo afecta a México?

La influencia de la NAO se extiende desde la costa este de EE.UU. hasta el norte del Golfo de México, aunque es menos importante en éste último. Durante la fase positiva (+NAO), cuando la celda anticiclónica de las Azores está bien desarrollada, la temperatura invernal del SE de EE.UU. es más elevada que durante la fase negativa (-NAO), cuando esa región es afectada por masas de aire provenientes del norte de Canadá. White y Downton (1991) indican que durante los inviernos +NAO la temperatura superficial marina promedio es más alta en todo el norte del Golfo, pero que la diferencia es más pronunciada en el este, mientras que el esfuerzo del viento es significativamente diferente entre los inviernos

³ <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>

+NAO y -NAO en la región occidental, con vientos más fuertes provenientes del este durante los inviernos -NAO.

¿Qué ha ocurrido en los últimos años?

En los últimos 30 años del siglo XX predominó la fase +NAO, tendencia sin precedentes en ese y siglos anteriores (Hurrell, 1995; Stockton y Glueck, 1999). Las anomalías más pronunciadas se presentaron a partir del invierno de 1989, y se presume que ésta tendencia es la causa de algunos de los cambios más notorios que han ocurrido en el clima y en el estado del tiempo en los ecosistemas marinos y terrestres de las latitudes medias y altas del Hemisferio Norte, entre los cuales se destacan: cambios en la actividad de las tormentas y en sus trayectorias en el Atlántico (Hurrell, 1995), variaciones en la altura de las olas superficiales en el norte del Atlántico (Kushnir *et al.*, 1997) y alteraciones en la producción de zooplancton y en la distribución de peces (e.g., Fromentin y Planque, 1996).

La tendencia creciente de la NAO en las últimas décadas y sus variaciones de baja frecuencia en un periodo de tiempo prolongado, han abierto el debate acerca de la habilidad humana para detectar y distinguir entre los cambios climáticos de origen natural y antrópico. Hurrell (1996) ha mostrado, por ejemplo, que la tendencia positiva del índice es responsable en gran medida del calentamiento que se ha observado en Europa y Asia, así como del enfriamiento sobre el Atlántico noroccidental durante las pasadas décadas.

La NAO es responsable de aproximadamente un tercio de la varianza de la temperatura superficial hemisférica en los pasados 60 inviernos. Dado que la temperatura promedio global es determinada por la variabilidad que se presenta en las masas de tierra del hemisferio norte, una fracción significativa del calentamiento que han experimentado las temperaturas superficiales puede ser atribuida a los cambios observados en la circulación atmosférica. Puesto que los cambios en el Atlántico Norte se han asociado con este índice y que este es el modo natural de la variabilidad atmosférica, es posible suponer que parte del calentamiento reciente no está relacionado con el incremento de gases de invernadero en el pasado siglo. Sin embargo, hay que considerar que cabe la posibilidad que los cambios de origen antrópico modifiquen la probabilidad de que se presente una u otra fase de la NAO. Por lo tanto es primordial entender los mecanismos físicos que regulan la variabilidad inter-estacional e inter-decadal y la manera como los modos de variabilidad natural tales como la NAO, pueden ser afectados por el cambio climático de origen humano.

Finalmente cabe mencionar que en el norte del Golfo de México existe cierta relación entre la NAO y El Niño-La Oscilación del Sur, así aunque la periodicidad de estos procesos es variable, porque el ENSO se ha reconocido en períodos de 2 a 7 años, mientras que la NAO en intervalos de aproximadamente 7 a 3 años, la co-ocurrencia de ambos se ha detectado en períodos de 6 años (Rogers, 1984).

Patrón Pacífico Norte América (PNA)

Este patrón es uno de los más influyentes que se presentan en las latitudes medias del hemisferio Norte (Fig. 6). Consiste de anomalías en los campos de altura geopotencial⁴ (típicamente a los 700 y 500 hPa) observadas en el norte del Pacífico, así como en el oeste y este de EE.UU. (Wallace y Gutzler, 1981). Uno de los centros de este sistema se encuentra en el norte del Golfo de México (30° N – 85° O), por lo que favorece el flujo de vientos provenientes de la región subpolar sobre el centro de EE.UU. y el Golfo en invierno y primavera, lo que disminuye la temperatura sobre esa región. La fase positiva tiende a estar asociada con los episodios cálidos (El Niño) en el Pacífico y la negativa con los fríos (La Niña). Cabe mencionar que en los años de ocurrencia del ENSO se ha observado una mayor incidencia del patrón PNA, lo que incrementa la frecuencia e intensidad de los nortes sobre el Golfo de México (White y Downton, 1991).

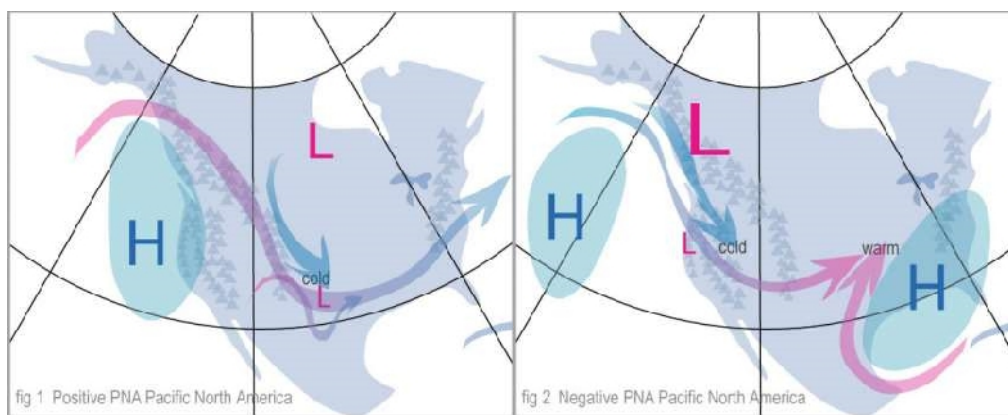


Fig. 6 Fases positiva (derecha) y negativa (izquierda) del PNA. Cabe señalar que aunque la primera se relaciona con la presencia de El Niño y la segunda con la Niña hay una conexión débil entre el PNA y el ENSO. El patrón involucra cambios en la presión atmosférica entre el núcleo de baja presión de las Aleutianas y el de alta presión que se encuentra sobre las montañas Rocosas. Imagen tomada de <http://www.nc-climate.ncsu.edu/edu/k12/PNA>

Wallace y Gutzler (1981) definieron el índice (Fig. 7) como resultado de la siguiente ecuación:

$$PNA = 0.25 * [Z(20^{\circ}N,160^{\circ}O) - Z(45^{\circ}N,165^{\circ}O) + Z(55^{\circ}N,115^{\circ}O) - Z(30^{\circ}N,85^{\circ}O)]$$

⁴ Altitud geopotencial. Es la distancia vertical medida desde el nivel medio del mar hasta un cierto nivel isobárico (presión constante), como por ejemplo los niveles de 700, 500, 400, 300 hPa, etc. Lo más correcto es decir altitud geopotencial porque está referido al nivel del mar; o simplemente geopotencial debido a que su significado se relaciona con el trabajo necesario que habría que realizar para elevar la unidad de masa hasta cualquier nivel de presión constante desde el nivel medio del mar. Definición tomada de http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/informeclimatologico/21anexovii_glosariometeorologico_2005.pdf

Donde Z son los valores estandarizados de la altura geopotencial de 500 hPa.

- Fase positiva: La altura geopotencial sobre el oeste de EE.UU. se encuentra por arriba de lo normal en tanto que sobre el este, está por debajo de ese valor, lo que produce una elevación sobre el oeste y una profunda depresión sobre el este. El resultado neto de este patrón es que el aire frío que se encuentra en Canadá es desplazado hacia el suroeste, lo que resulta en temperaturas por debajo de lo normal sobre el este de EE.UU. y por arriba de ese valor sobre el oeste de EE.UU.
- Fase negativa: Se caracteriza porque la altitud geopotencial sobre el oeste de EE.UU. es inferior a la normal y por lo tanto, por arriba de lo normal sobre el este de ese país. Como resultado las temperaturas promedio en el oeste están debajo de lo normal y por arriba, en el este de EE.UU.

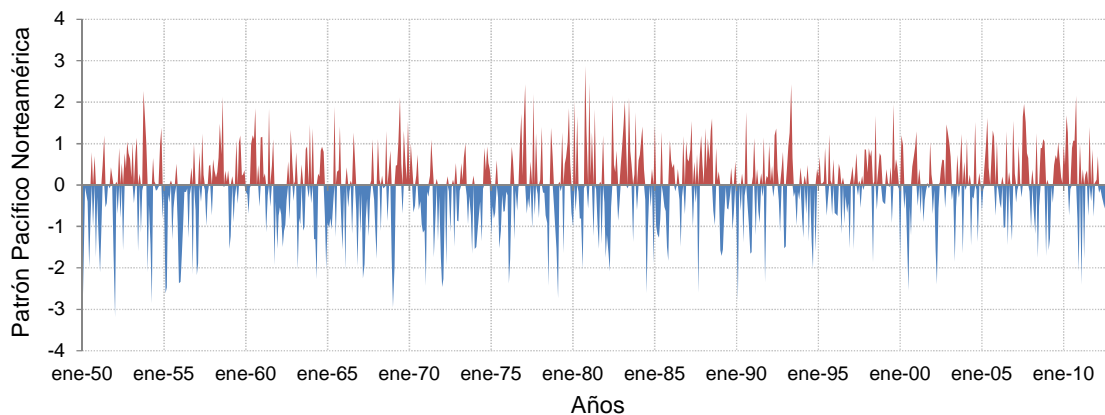


Fig. 7 . Patrón Pacífico Norteamérica (PNA), describe las variaciones en la circulación atmosférica sobre el Océano Pacífico y Norteamérica. Este patrón es más influyente durante el invierno. Datos obtenidos el 2 de abril de 2013, de las páginas:

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/#PNA>

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/pna.data>

Índice de la Oscilación del Sur (SOI)

Este valor es un indicador de la diferencia de presión entre Tahití y Darwin (Fig. 8) que se presenta debido al efecto de subibaja que se presenta en el Pacífico Ecuatorial. Con frecuencia la magnitud de esta oscilación está relacionada con el desarrollo e intensidad de los eventos de El Niño y la Niña. Los valores negativos de la diferencias de presión sin normalizar menores a -8 indican los episodios El Niño, en tanto que los valores positivos mayores a 8 son típicos de La Niña⁵; sin embargo, cuando los datos son normalizados los valores límite son -0.5 y 0.5 (Tabla 1). La gráfica con los valores de este indicador se presenta en la sección referente a El Niño.

⁵ Definición adaptada de la página web: <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>

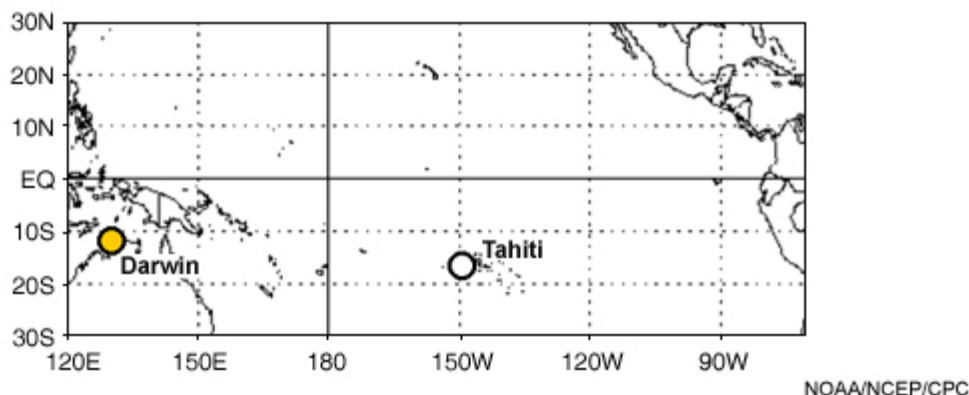


Fig. 8 Ubicación de las localidades en las que se mide la presión atmosférica. El signo de la diferencia entre los registros de Tahití y Darwin (Australia) indica la presencia de El Niño o La Niña. Imagen tomada de <http://www.nc-climate.ncsu.edu/edu>

Tabla 1.- Clasificación de los eventos según el valor del SOI según el criterio del Western Regional Climate Center⁶ de la NOAA. EN: El Niño; LN: La Niña.

Clave	Intensidad del evento	SOI	Clasificación evento
I EN	Fuertemente Negativo	-1.00	El Niño Intenso
M EN-	Moderadamente Negativo	-0.50	El Niño Moderado
N	Normal	-0.5 y +0.50	Normal
M LN	Moderadamente Positivo	+0.50	La Niña Moderada
I LN	Fuertemente Positivo	+1.00	La Nina Intensa

Índices climáticos basados en la temperatura superficial del mar (océano Atlántico)

Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

El AMO⁷ describe los ciclos de mediano plazo en la temperatura superficial marina que se presentan en el Atlántico Norte; las fases frías y cálidas duran, cada una, de 20 a 40 años aproximadamente y los cambios entre los valores extremos son de alrededor de 1.8 °C (1 °F). Esta oscilación se presenta en la mayor parte del océano comprendida entre Groenlandia y el ecuador e incluso puede afectar el Pacífico norte; influye en la temperatura del aire y la precipitación de gran parte de Norteamérica y Europa, por lo cual se ha asociado con la frecuencia de las sequías y de los huracanes más intensos. Por otro lado, dependiendo de la fase, se menciona que enmascara o exagera el incremento de temperatura inducido por el calentamiento global de origen antrópico; cabe señalar que

⁶ Western Regional Climate Center. 2215 Raggio Parkway Reno, NV;
<http://www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html>

⁷ Esta información fue obtenida de la página web del Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico del Atlántico perteneciente a la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponible en: <http://www.aoml.noaa.gov/>

desde mediados de la década de 1990, prevalece la fase cálida, después de aproximadamente tres decenios en los que había dominado la fase fría (Fig. 9).

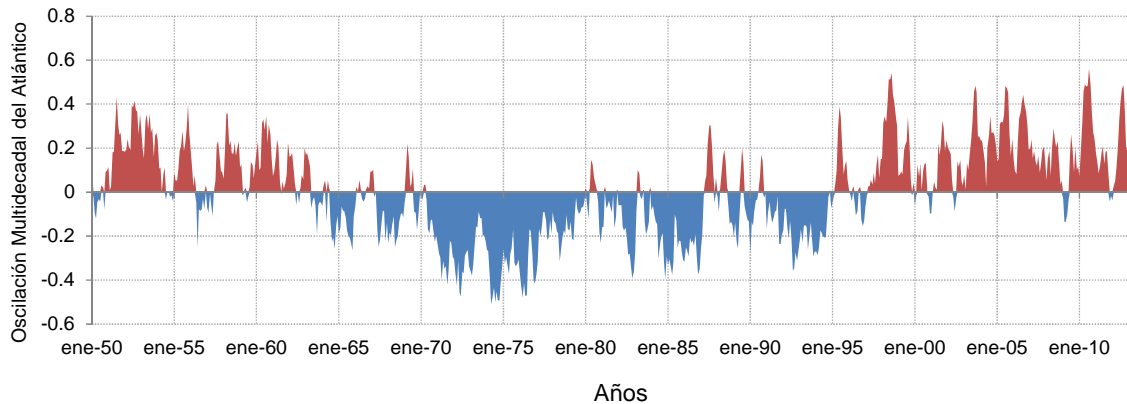


Fig. 9 Índice de la Oscilación Multidecadal del Atlántico. Este índice es calculado a partir de la temperatura superficial marina entre los 0° and 70°N y refleja patrones que duran varias décadas; cabe mencionar que a partir de 1995 ha dominado la fase positiva. Datos obtenidos el 2 de abril de 2013 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.us.data>

La fase positiva de la AMO se ha relacionado con el incremento en la cantidad de huracanes que se han presentado en el Atlántico desde 1995. Es probable que esta tendencia haya resultado de la intensificación del Monzón de África Occidental aunada a la disminución de la convección sobre la cuenca del río Amazonas, lo que favorece la expansión de los vientos que fluyen hacia el este por las capas superiores de la atmósfera y da lugar a vientos alisios débiles a través del Atlántico tropical; esto contribuye a elevar la temperatura superficial marina, reduce la cizalladura vertical del viento e intensifica la corriente de chorro que se dirige desde África hacia el este (Fig. 10).

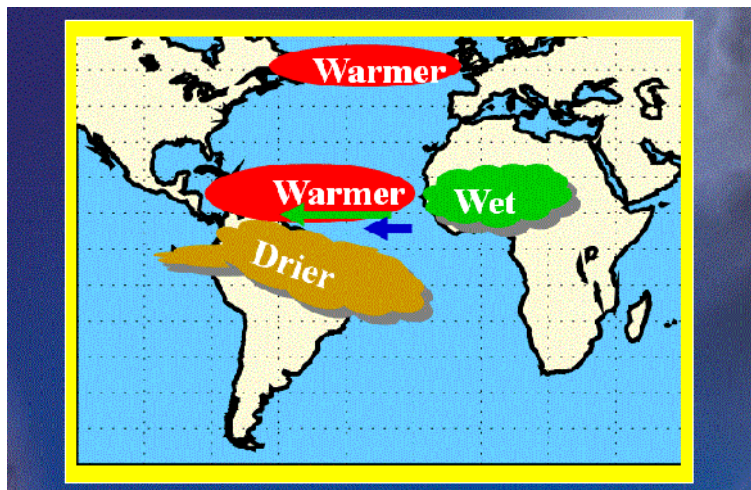


Fig. 10 Diagrama que muestra las condiciones prevalentes desde 1995, que favorecen la formación de huracanes en la costa africana y su traslado hacia el Atlántico occidental. Imagen tomada de la NOAA.

Índice del Caribe (CAR)

Este indicador está conformado por las anomalías promedio de la temperatura superficial marina del mar Caribe y Golfo de México, en el área comprendida entre las coordenadas 9-

27 °N y 60-100 °O (Penland y Matrosova, 1998) (Fig. 11). Los datos de la *figura 12* se obtuvieron de la base de datos del Earth System Research Laboratory de la NOAA, donde el indicador se construyó a partir de tres fuentes de información: los datos de 1951 a 1991 fueron obtenidos de la base Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS) y los más recientes del National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Las anomalías se calculan a partir del periodo base 1951-2000, y son suavizadas mediante el método de promedios móviles en intervalos de tres meses antes de ser proyectadas en 20 Funciones Empíricas Ortogonales.

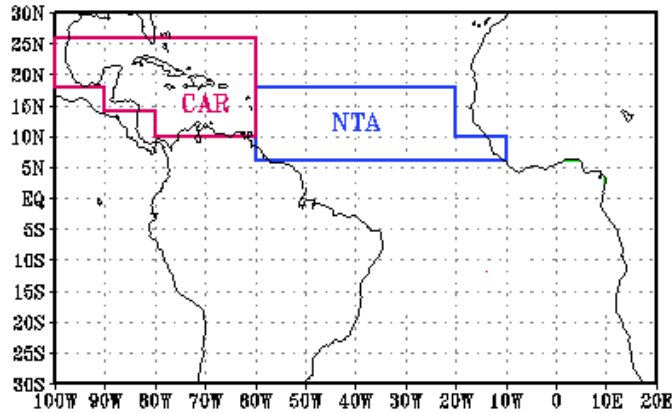


Fig. 11 La temperatura de las áreas CAR y NTA es utilizada para calcular los índices del Caribe y del Noratlántico Tropical.

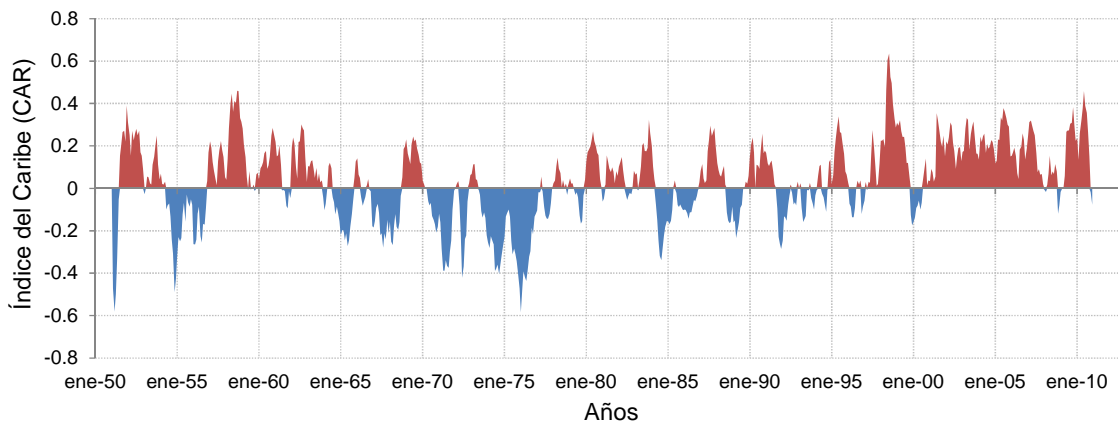


Fig. 12 Índice del Caribe. Este indicador se calcula con las anomalías térmicas del área comprendida entre los 9 y 27 °N y entre los 60 y 100 °O.

Índice del Noratlántico Tropical (NTA)

El NTA es una serie de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial marina (Fig. 13) promediadas sobre un cuadrante comprendido entre las coordenadas 20-60 °O, 6-18 °N y de 20 a 10 °O, y de 6 a 10 °N (Fig. 11). Se calcula de la misma manera que el CAR, por otro lado, estos dos índices están estrechamente relacionados con los procesos globales que

se producen en el trópico, en particular con las condiciones en la región Niño 3 (Penland y Matrosova, 1998).

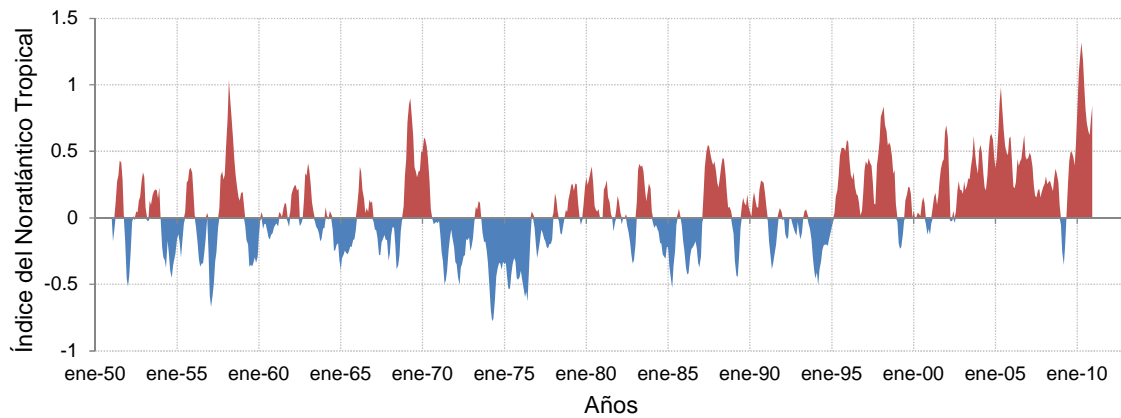


Fig. 13 El índice NTA está calculado con base en las anomalías térmicas del área mostrada en la figura 11. Este indicador está estrechamente relacionado con el CAR.

Comentario: Los índices climáticos muestran los diferentes procesos de escala global que afectan a la temperatura superficial marina en el Atlántico tropical; en el caso del AMO entre 1960 y 1995, predominó la fase negativa, aunque desde 1975, la tendencia empezó a cambiar e incluso en algunos años el índice fue positivo, como ocurrió en los lapsos 1978-1983 y 1987-1991. Por el contrario, a partir de 1995 ha predominado la fase cálida, particularmente en 2005 y 2010. Las fluctuaciones del CAR y NTA son similares a las del AMO, aunque con pequeñas variaciones.

Índices climáticos basados en la temperatura superficial del mar (océano Pacífico)

Oscilación del Pacífico Norte (PDO)

El Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés), resume las variaciones mensuales de la temperatura superficial marina en el Océano Pacífico al norte de los 20°N (Fig. 14). La periodicidad de este evento es de 15 a 20 años. Los cambios de temperatura en esa región tienen un gran impacto en el clima de Norteamérica porque alteran el patrón de vientos, particularmente la ubicación de la corriente de chorro y de las tormentas.

El índice es positivo cuando la temperatura es anómalamente cálida a lo largo de la costa de Norteamérica, Centroamérica y el Ecuador y fría en el interior del Pacífico Norte (Fig. 14), y negativo cuando esa distribución se invierte (Trenberth y Hurrell, 1994). La evidencia muestra que hubo cambios de fase en 1925, 1947 y 1977, por lo que a partir de ese último año y hasta 1997 predominaron los valores positivos. En los últimos años han predominado los registros negativos, excepto entre septiembre de 2002 y agosto de 2006 así como a finales de 2009 y los primeros meses de 2010.

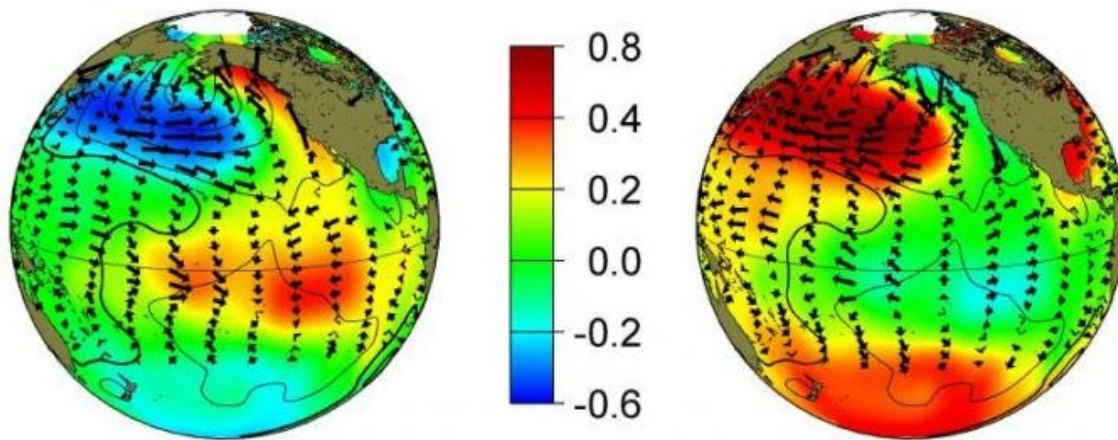


Fig. 14 Condiciones típicas en el océano Pacífico durante las fases positiva (izquierda) y negativa (derecha) del PDO. Los colores muestran las anomalías de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y las flechas la dirección de los vientos dominantes, la cual se invierte entre ambas fases. La imagen fue tomada de la página web de la Universidad de Washington.

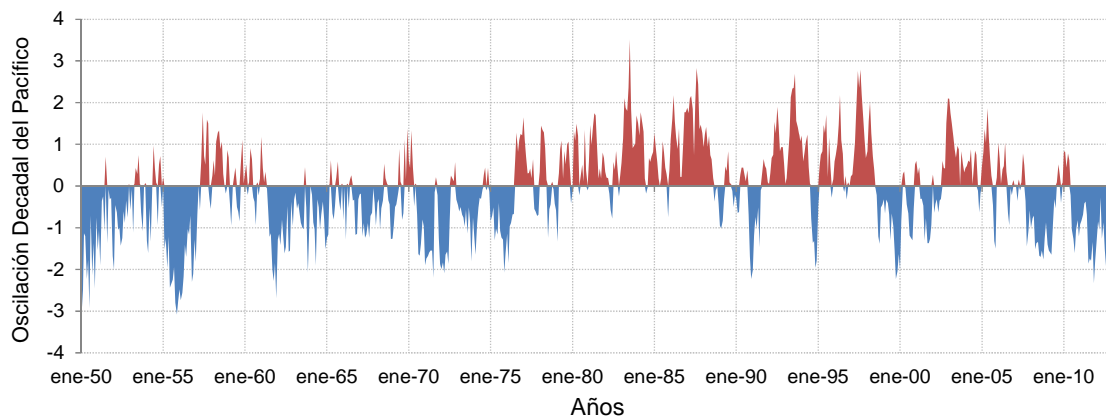


Fig. 15 Variaciones del Índices de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés). Los valores representan el primer componente de las anomalías mensuales de la temperatura superficial marina del área ubicada entre los 20°N y el polo Norte. Los datos utilizados para la construcción de este índice fueron los registros del Servicio Meteorológico del Reino Unido UKMO (1900-1981), la serie de Reynolds SST (V1) interpolada y optimizada (enero 1982-diciembre 2001) y la información de la base de datos OI SST versión 2 (V2) de enero de 2002 a la fecha. Ver los métodos del procesamiento en la página web de la Universidad de Washington y los valores en la dirección: ftp://ftp.atmos.washington.edu/mantua/pnw_impacts/INDICES/PDO.latest

Índice de El Niño Oceánico (ONI)

Es una serie de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial marina calculadas a partir de mediciones *in situ* efectuadas en la región El Niño 3.4 (5°N - 5°S , 120 - 170°O). El periodo base abarca de 1971 a 2000 y los datos se obtienen con el método de medias móviles aplicado a periodos de tres meses. La temperatura utilizada para calcular el índice pertenece al banco de datos Extended Reconstructed Sea Surface Temperatura (ERSST.v2) del National Climatic Data Center de la NOAA (<http://www.ncdc.noaa.gov/ersst/>). Los

episodios fríos y cálidos son definidos cuando la anomalía se encuentra por arriba o por debajo de un valor umbral (± 0.5 °C) durante, al menos, cinco periodos consecutivos. La gráfica con los valores se presenta en la sección dedicada El Niño.

El Niño y La Niña

Este trabajo está dedicado a la descripción de los índices climáticos que están relacionados con los eventos que afectan a México; sin embargo, debido a la relevancia de los eventos El Niño-La Niña, en esta sección se hace una breve descripción de esos procesos (Fig. 16) . El texto es una adaptación de la página web http://www.pmel.noaa.gov/tao/el_nino/el_nino_story.html

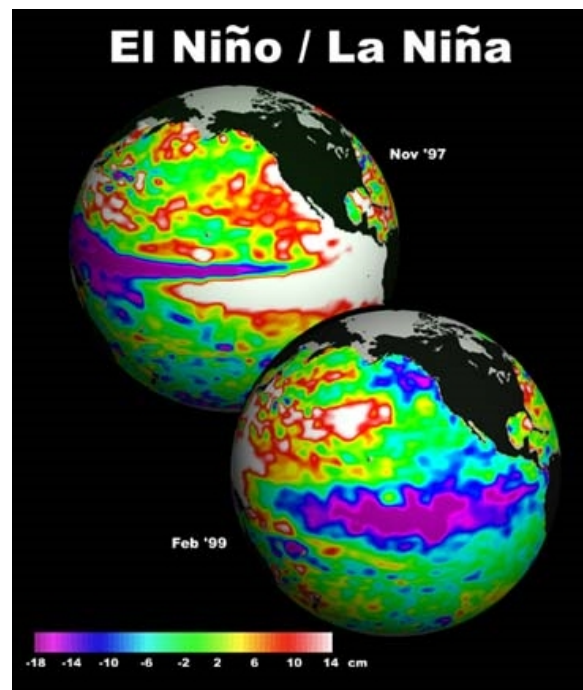


Fig. 15 Nivel medio del mar característico cuando se presentan El Niño y La Niña, respectivamente. En el primer caso, debido a que los vientos alisios son débiles en el Pacífico sur, las masas de agua cálida del Pacífico occidental se desplazan hacia América, debido a esto, durante los más eventos intensos, se forma un “abultamiento” en la superficie marina desde Perú hasta la frontera de EE.UU. con Canadá. Por el contrario, durante La Niña, los vientos alisios son más fuertes y arrastran agua desde la costa de Sudamérica hacia el Pacífico occidental, por lo que la acumulación de agua se presenta en el Pacífico occidental. Estas imágenes fueron tomadas por el satélite Topex-Poseidon y se encuentran en la página web: <http://sealevel.jpl.nasa.gov>

¿Qué son El Niño y La Niña?

El Niño es una oscilación del sistema océano-atmósfera en el Pacífico tropical y tiene consecuencias importantes para el estado del tiempo en todo el globo. En condiciones normales los vientos alisios fluyen hacia el oeste a través del Pacífico tropical por lo que se apila agua caliente en el Pacífico occidental de tal manera que la superficie marina es aproximadamente medio metro más alta en Indonesia que en el Ecuador. La temperatura

superficial marina es aproximadamente 8 °C más elevada en la costa occidental, en tanto que frente a Sudamérica las temperaturas son bajas debido a la surgencia de agua fría subsuperficial, rica en nutrientes por lo que sustenta una elevada productividad primaria. Por otro lado, la lluvia se concentra en la zona de evaporación que se forma sobre el Pacífico Central, en tanto que la costa oriental permanece relativamente seca (Fig. 17 a).

Durante El Niño los vientos alisios se relajan en el Pacífico occidental y central, lo que profundiza la termoclina en el Pacífico oriental y la eleva en el occidental. Las observaciones en el meridiano 110 °O, indican que durante el evento de 1982-1983, la isoterma de 17 °C se hundió hasta los 150 m de profundidad, lo que disminuyó la intensidad de la surgencia y suspendió el aporte del agua subsuperficial hacia la zona eufótica. Como resultado se elevó la temperatura superficial marina y hubo una disminución drástica en la productividad primaria, lo que afectó de manera negativa a los niveles tróficos superiores de la cadena alimenticia y a las pesquerías comerciales. Por otro lado, el desplazamiento del agua caliente hacia el oriente que ocurre durante El Niño cambia la distribución de las lluvias, lo que da lugar a inundaciones en Perú y sequías en Indonesia y Australia. En conclusión, el desplazamiento hacia el este del agua caliente, una importante fuente de calor hacia la atmósfera, altera significativamente la circulación atmosférica global y el clima en regiones muy alejadas del Pacífico Tropical (Fig. 17 a).

En contraste, durante La Niña la presión superficial es menor sobre el margen occidental del Pacífico Ecuatorial ya que debido a las elevadas temperaturas de la superficie marina, las masas de aire que se encuentran sobre ella son cálidas y húmedas por lo que se elevan hacia las capas altas de la atmósfera, donde divergen y se desplazan horizontalmente. Por el contrario, en la costa oriental, el agua es fría y la presión superficial tiende a ser más alta debido a la convergencia de los vientos provenientes del Pacífico occidental (Fig. 17b). El contraste entre la presión de las dos regiones favorece a los vientos alisios que fluyen de este a oeste y el arrastre de agua en esa misma dirección, por lo que se forma una intensa surgencia.

La baja presión que se presenta durante la Niña sobre Indonesia y el norte de Australia, incrementa la lluvia sobre toda esa región. También se registran condiciones más lluviosas que lo normal sobre el sureste de África y el norte de Brasil. Por otro lado, dado que la presión sobre el Pacífico central es más alta que la usual, las condiciones a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, la costa norte del Golfo de México y la región de las pampas en Sudamérica durante el invierno son secas. A diferencia de lo que ocurre con El Niño, el impacto de La Niña en la industria pesquera es positivo en las costas de Perú. Este evento puede durar entre uno y tres años, pero a diferencia de El Niño, raramente se prolonga más de un año.

La periodicidad de El Niño o La Niña es irregular y su intensidad varía de un evento a otro, por lo que se clasifican como “fuertes”, “moderados”, “débiles” o “muy débiles”,

dependiendo de la amplitud de la anomalía en la temperatura superficial del mar (Quinn y Neal, 1992).

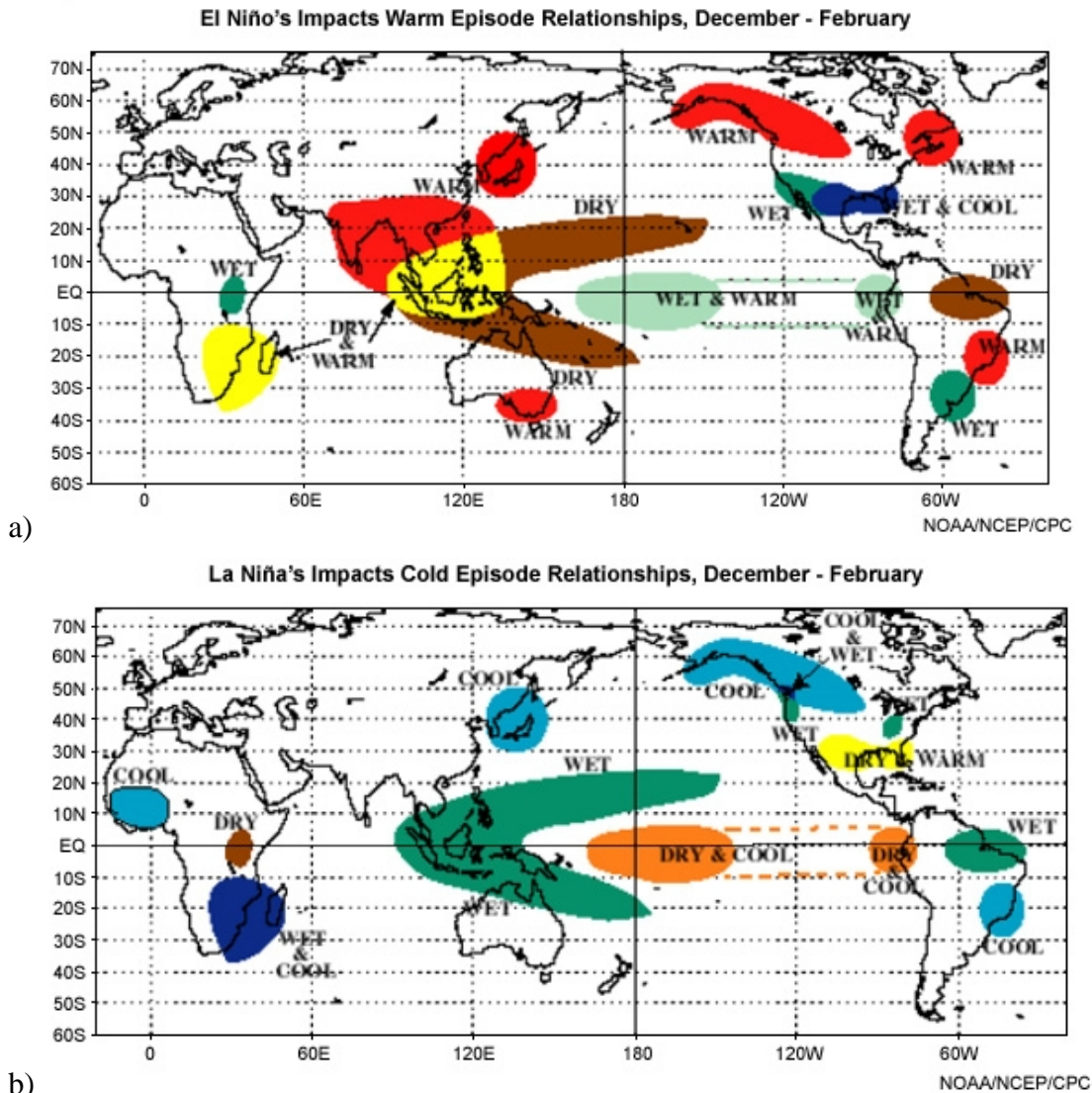


Fig. 16 Impactos de El Niño y La Niña alrededor del mundo. Cabe mencionar que aunque la influencia de estos eventos es mayor en la cuenca del Pacífico, afectan el estado del tiempo en casi todo el planeta. Imagen tomada de <http://www.meted.ucar.edu/climate/enso/media/graphics/ninainpacts1.jpg>

¿Cómo identificar a El Niño y La Niña?

El monitoreo de este evento se realiza sobre el Pacífico ecuatorial, que para tal efecto se dividió en cuatro regiones: El Niño-1+2 (0° - 10° S, 90° O- 80° O), Niño-3 (5° N- 5° S, 150° O- 90° O), Niño-3.4 (5° N- 5° S, 170° O- 120° O) y Niño-4 (150° O- 160° E y 5° N- 5° S), como se presenta en la *figura 18 a*. En esta zona existe una gran cantidad de artefactos de medición (Fig. 18 b), a los cuales se suma una red de mareógrafos en ambas costas del Pacífico Central y observadores voluntarios a bordo de barcos.

El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura superficial del mar está, al menos, 0.5 °C, por encima de la media del lapso 1950-1979, durante un periodo mínimo de seis meses consecutivos en la región conocida como “Niño 3” (Trenberth, 1997). Por el contrario, durante La Niña la temperatura superficial es menor a la media de ese mismo intervalo.

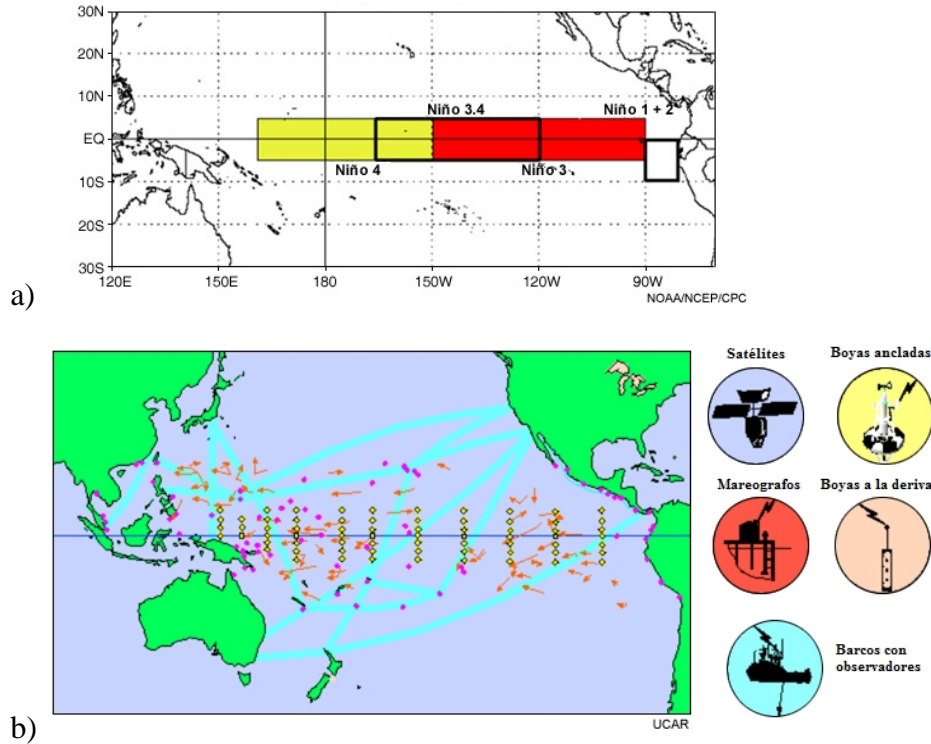


Fig. 17 Áreas del océano que se monitorean constantemente para detectar la presencia de El Niño. En la figura b se muestran algunas de las herramientas utilizadas para medir el nivel del mar, la temperatura superficial, la intensidad del viento, la nubosidad y las corrientes marinas. Imágenes tomadas de https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?currentPage=showAll&tab=3&id=134.

¿Qué ocurre en México?

Las variaciones del clima en México son determinadas, en gran medida, por la ocurrencia del evento de El Niño-la Oscilación del Sur (Magaña y Quintanar, 1997), así, durante El Niño las lluvias de invierno se intensifican y las de verano se debilitan. En el Pacífico Mexicano se incrementa la frecuencia con la que se presentan las tormentas tropicales y huracanes, mientras que durante La Niña ocurre lo contrario. Por otro lado, la profundidad de la termoclina, la intensidad de las surgencias y la altura del nivel del mar se modifican durante estos eventos.

El Niño afecta los patrones oceánicos de circulación así como la intensidad y formas de los sistemas en el Pacífico Mexicano. La presencia de El Niño y la Niña modifican la distribución de temperatura (e.g. la extensión de la Alberca Caliente que se ubica frente a las costas de Guerrero y Michoacán), así como la intensidad de las surgencias costeras que

se producen desde el norte de Baja California hasta el Golfo de Tehuantepec. Según Trasviña *et al.* (2004), algunas señales típicas de El Niño y La Niña son: valores de temperatura por encima de lo normal durante El Niño (en tanto que ocurre lo contrario durante La Niña) y menores tasas de pérdida de calor en el Golfo de California durante el otoño de los años Niño que en los Niña; aunque quizá la señal más conspicua es la manera como se altera la distribución de la temperatura dependiendo de esos eventos, ya que durante los años Niña, la temperatura superficial del mar característica en el Pacífico Mexicano Subtropical (16 a 19 °C) se extiende hacia el sur por lo que puede llegar hasta latitudes cercanas a Cabo San Lucas; mientras que durante los años Niño, esos valores de temperatura se presentan en la costa noroccidental de Baja California (Bahía de San Quintín) y el Mar de Cortés es más caliente que el Pacífico Mexicano Subtropical en inviernos posteriores a un Niño intenso.

El ENSO afecta el Golfo de México a través de un fenómeno de teleconexión ya que existe una anomalía positiva en la precipitación en los inviernos posteriores al ENSO en el sudeste de EE.UU. (Bradley *et al.*, 1987). Durante el otoño e invierno posterior al ENSO⁸ (+), la precipitación en el sudeste de EE.UU. y el norte de México fue 81% superior a la normal (Ropelewski y Halpert, 1986, 1987), mientras que, la temperatura en esa región y en el este de EE.UU. fue inferior a la media (Rogers, 1984; Livezey *et al.*, 1997) en 80% de las ocasiones (Ropelewski y Halpert, 1986). En esos años la ocurrencia de huracanes en el Atlántico es menor al promedio (Gray, 1984).

Aunque cabría esperar que el ENSO estuviera directamente relacionado con la variabilidad climática del Golfo, hay diferencias entre cada evento ENSO (Hoerling y Kumar, 1997; Kumar y Hoerling, 1997), dependientes de la duración y extensión del evento, de su interacción con fenómenos atmosféricos de gran escala, de la variabilidad regional y de la no-linearidad de las teleconexiones (Livezey *et al.*, 1997).

¿Cuáles son los indicadores climáticos de El Niño?

Los indicadores más empleados son el SOI, el MEI y el ONI, por sus siglas en inglés⁹.

- **SOI** (South Oscillation Index) Este valor se calcula desde el siglo XIX y es la diferencia entre la presión atmosférica estandarizada, medida al nivel del mar, entre Tahití y Darwin (Fig. 19 a). Ya se describió en la sección dedicada a los indicadores basados en la presión atmosférica.

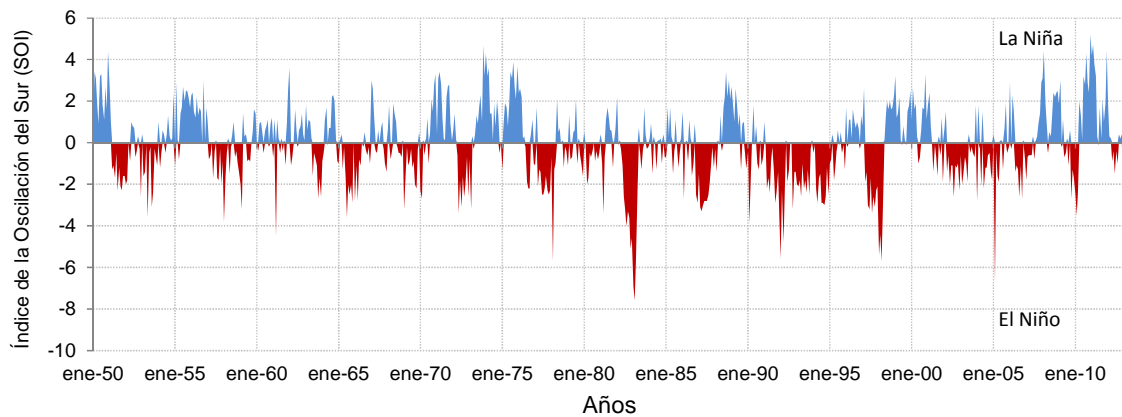
⁸ Se utiliza la nomenclatura de Rasmusson y Carpenter (1982), quienes definen los valores del interior del paréntesis como: (+) los años posteriores, los (0) como aquellos en los que ocurre el evento y los (-) como los anteriores al ENSO.

⁹ Fuentes <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>

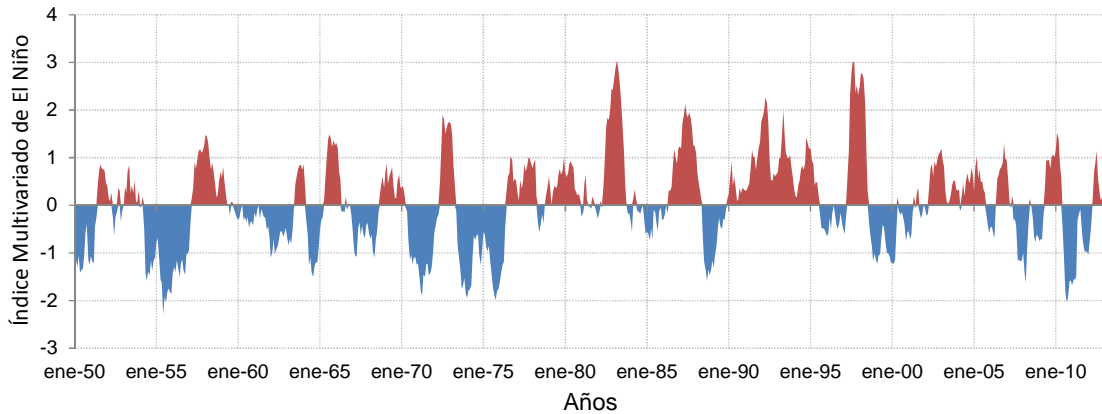
http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_ONI.html

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml

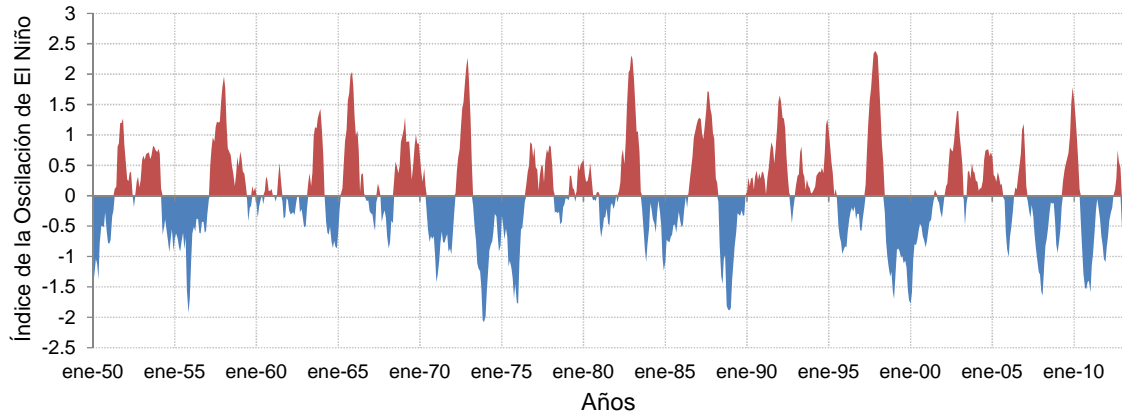
- **MEI** (Multivariate ENSO Index) Este índice es una combinación lineal de seis variables atmosféricas y marinas medidas en la región Niño 3 (Fig. 19 b). Los datos se presentan en periodos bimestrales.
- **ONI** (Oceanic Niño Index) Índice de El Niño oceánico mensual. Es una serie de tiempo elaborada a partir de las anomalías de la temperatura superficial marina reconstruidas por la NOAA a partir de datos medidos *in situ*, en la región El Niño 3.4 (Fig. 19 c). Se describió en la sección dedicada a los índices basados en la temperatura superficial marina.



a)



b)



c)

Fig. 18 Índices utilizados para evaluar la presencia y magnitud de El Niño y La Niña. A) Índice SOL. B) Índice Multivariado de El Niño. C) Índice de la Oscilación de El Niño (ONI). Los valores se pueden obtener en las páginas: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/SOL.signal.ascii> <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/multivariate-enso-index> http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml

Variabilidad en el periodo 1950-2012

En el intervalo de estudio se registraron nueve eventos intensos y 11 moderados; en contraste se detectaron siete Niñas moderadas e igual cantidad de intensas, por lo que han ocurrido menos eventos de La Niña que El Niño (Tabla 2). Habitualmente estos eventos inician en un año, denotado como “año 0”, y concluyen en el siguiente o “año +1”. La periodicidad de La Niña ha sido irregular, mientras que la de El Niño ha variado entre dos y siete años, y se ha presentado con mayor frecuencia desde 1982, cuando sucedió el evento más intenso de la segunda mitad del siglo XX.

En la década de los noventa se presentaron dos eventos Niño, el primero ocurrió entre 1992 y 1993, aunque algunos autores mencionan que se prolongó hasta los primeros meses de 1995. Posteriormente, se registró el evento de 1997-1998 que fue particularmente intenso y que fue seguido por La Niña (1999-2001). En el lapso 2002-2003 se presentó un Niño moderado, mientras que en 2004 y 2005 las condiciones fueron normales, aunque en el primero de los dos años el valor del MEI fue positivo, en tanto que entre septiembre de 2005 y marzo de 2006 fue ligeramente negativo. Por otro lado, entre mayo de 2007 y marzo de 2009 se presentó un evento La Niña de intensidad moderada y entre junio de 2010 y marzo de 2012 un evento intenso seguido de uno más moderado.

Tabla 2 Clasificación de los años según la intensidad de El Niño y La Niña. Se siguió el criterio de Western Regional Climate Center de la NOAA que se basa en el SOI.

El Niño		La Niña		Normal
Intenso	Moderado	Moderado	Intenso	
1940-41	1939-40	1947-48	1938-39	1933,1934,1935,1936,1937
1941-42	1944-45	1956-57	1950-51	1942, 1943
1946-47	1953-54	1964-65	1955-56	1945
1951-52	1957-58	1970-71	1973-74	1948, 1949
1965-66	1963-64	1971-72	1975-76	1958,1959
1972-73	1969-70	1974-75	1988-89	1960,1961,1962,
1977-78	1976-77	2000-01	1998-99	1966,1967,1968
1982-83	1991-92	2007-2009	2010-2012	1978, 1979, 1980,1981
1987-88	1992-93			1983,1984,1985,1986
1993-94	2002-03			1989,1990
1994-95	2004-05			1995, 1996,2001,2003
1997-98	2006-07			
	2009-2010			

Literatura citada

- Bradley, R. S., H. F. Díaz, G. N. Kiladis y J. K. Escheid. 1987. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. *Nature*. 32(11):497-501
- Fromentin, J.M y B. Planque. 1996. Calanus and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Marine Ecology Progress Series*. 134:111-118
- Glantz, M. H. R., W. Katz y N. Nicholls. 1991. Teleconnections linking worldwide climate anomalies. *Scientific basis and societal impact*. Cambridge University Press. 535p.
- Gray, W. H. 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial oscillation influences. *Monthly Weather Review* 112:1649-1668
- Hoerling, M. P. y A. Kumar. 1997. Why do North American climate anomalies differ from one El Niño event to another? *Geophysical Research Letters* 24 (1 Mayo):1059-1062.
- Hurrell, J.W. 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269:676-679.
- Hurrell, J.W. 1996: Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperatures. *Geophysical Research Letters*. 23(6):665-668.
- Kumar, A. y M.P. Hoerling. 1997. Interpretation and implications of observed inter-El Niño variability. *Journal of Climate* 10:83-91

- Kushnir, Y., V.J. Cardone, J.G. Greenwood y M. Cane. 1997. On the recent increase in North Atlantic wave heights. *Journal of Climate*, 10:2107-2113.
- Livezey R., M. Masutani, A. Leetma, H. Rui, M. Ji y A. Kumar. 1997. Teleconnections responses of the PNA atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies. *Journal of Climate* 10:1787-1820
- Magaña V. y A. Quintanar. 1997. On the use of a general circulation model to study regional climate. 2nd. UNAM-CRAY Supercomputing Conference on Earth Sciences. Mexico City. June 1997. Ed. Cambridge University Press. 39-48
- Penland, C., y L. Matrosova. 1998. Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling. *Journal of Climate*, 11:483-496.
- Quinn, W.H. y V.T. Neal. 1992. The historical record of El Niño events. En: R.S. Bradley y P.D. Jones (eds.) *Climate since A.D. 1500*. Routledge: London, pp. 623-648. http://gcmd.gsfc.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=&EntryId=NOAA_WDCPALEO_CLIM1500_CH32&MetadataView=Data&MetadataType=0&lbnode=mdlb3
- Rasmusson, E. M. y T. H. Carpenter. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*. 110:354-384
- Rogers, J. 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review* 112: 1999-2015
- Ropelewski, C.F. y M.S. Halpert. 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Monthly Weather Review* 114:2352-2362
- Ropelewski, C.F. y M.S. Halpert, 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115:1606-1626
- Stockton, C. W. y M. F. Glueck, 1999: Long-term variability of the North Atlantic oscillation (NAO). *Proc. Amer. Met. Soc. Tenth Symp. Global Change Studies*, 11-15 January, 1999, Dallas, TX, 290-293.
- Trasviña, A., D. Lluch-Cota, A.E. Filonov y A. Gallegos. 2004. Oceanografía y El Niño Magaña Rueda Víctor (Ed.). *Los impactos del niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p
- Trenberth, K.E. 1997. The Definition of El Niño. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 78: 2771-2777.
- Trenberth, K.E. y J.W. Hurrell, 1994: Decadal Atmosphere-Ocean Variations in the Pacific. *Climate Dynamics: Vol. 9*, pp.303-319.

Trewin B.C., 2007. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. CDMP-Nº. 61. OMM-TD Nº. 1377 Programa mundial de datos y vigilancia del clima. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. 43 pp.

Walker, G.T. y E.W. Bliss. 1932. World Weather. V. Mem. Roy. Meteor. Soc. 4(36): 53-84.

Wallace, J.M y D.S. Gutzler. 1981. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review* 109:784-811

White, M. y M.W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M.H. Glantz, R.W. Katz y N. Nicholls (eds). *Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact*. Cambridge University Press. U.K. pp: 459-491

Otras páginas de interés

<http://climatedataguide.ucar.edu/category/data-set-variables/climate-indices>

http://www.cicimar.ipn.mx/oacis/Indices_Climaticos.php

<http://sealevel.jpl.nasa.gov/science/timeseries/>