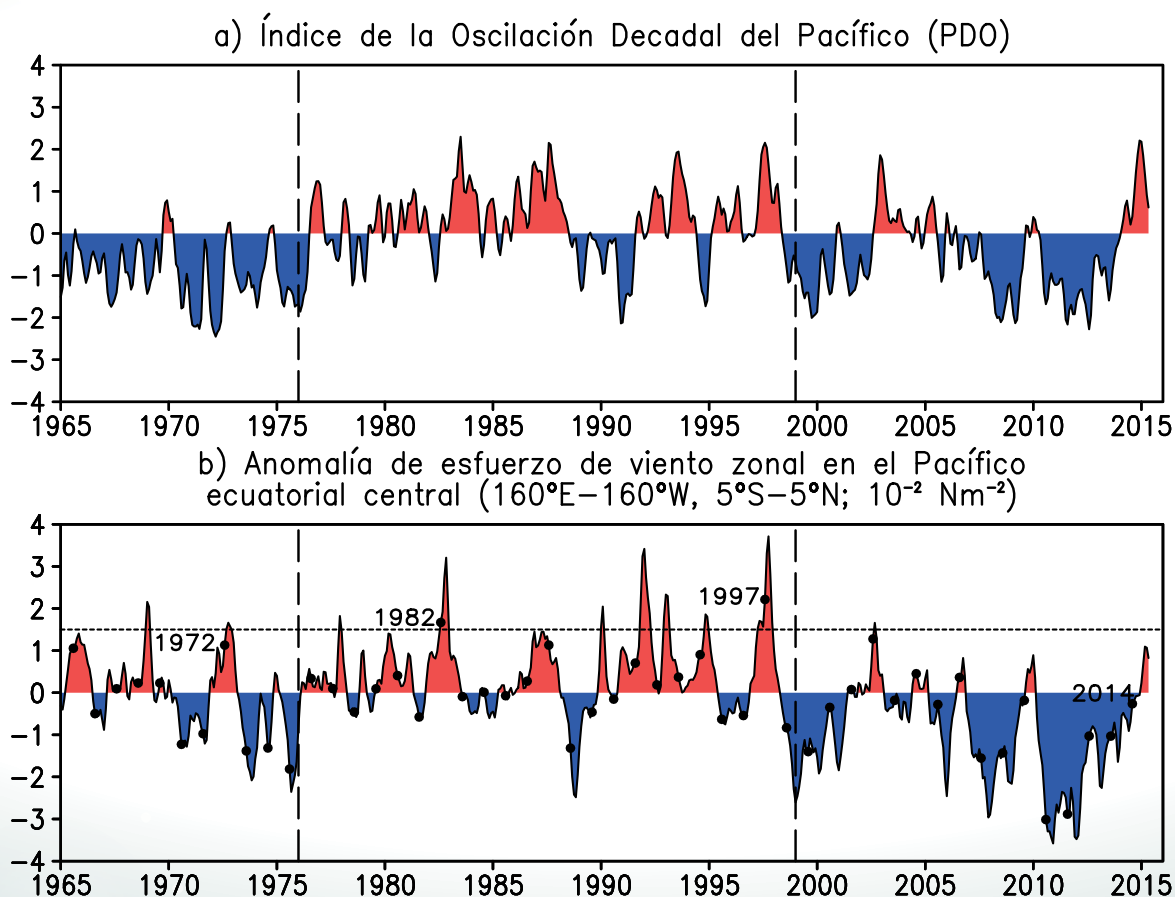


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

“Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

Correspondencia entre la temperatura del mar y la anomalía de vientos del oeste a escala multianual



Influencia de la variabilidad decadal en El Niño-Oscilación Sur

El Niño-Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno que depende en forma fundamental del acoplamiento entre el océano y la atmósfera. En particular, el crecimiento de su fase cálida se desarrolla mediante el proceso de retroalimentación positiva de Bjerknes (1969), el cual consiste en una amplificación mutua entre la lluvia, los vientos del oeste y el calentamiento superficial en el Pacífico Ecuatorial (ver Dewitte et al., 2014). Por otro lado, el proceso de amplificación no actúa indefinidamente, ya que al mismo tiempo que un evento cálido crece, el contenido de calor oceánico es descargado de la zona ecuatorial y esto lleva al fin del evento cálido (ej. modelo carga-descarga; Dewitte et al., 2014). Para la fase fría los procesos son similares, pero en la dirección opuesta.

Las propiedades de ENOS, como su periodicidad y magnitud típica, dependen de los valores de los parámetros que caracterizan los diferentes procesos físicos involucrados. Estos parámetros no son constantes fundamentales de la física (como la velocidad de la luz en el vacío), sino que sus valores son estimados de las condiciones climáticas promedio y, por lo tanto, pueden variar si el clima varía lentamente. Cuando en un modelo simplificado de ENOS se modificaron los valores promedio de la profundidad de la termoclina y del viento del este a lo largo del ecuador, ocurrieron cambios sustanciales en el periodo de oscilación y la tasa de crecimiento de los eventos ENOS (Fedorov y Philander, 2000; 2001; Figura 1). Un resultado



Ph. D. Ken Takahashi Guevara
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú

Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EEUU y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo del área de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Además, es investigador principal del proyecto "Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes". Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

particularmente interesante de este estudio es que las condiciones presentes estarían alrededor de los puntos A y B en la Figura 1, cerca al límite entre el régimen inestable (tasa de crecimiento positiva), con oscilaciones autosostenidas, y el régimen estable (tasa negativa), en el que las oscilaciones son mantenidas por forzantes externos, particularmente la variabilidad atmosférica de alta frecuencia (ver Dewitte et al., 2014). También es interesante que los mecanismos dominantes que controlan la variabilidad de ENOS son distintos según los valores de estos parámetros. Cerca al punto D las fluctuaciones en la inclinación de la termoclina dominan el calentamiento/enfriamiento superficial, mientras que cerca al punto E son dominantes las fluctuaciones en

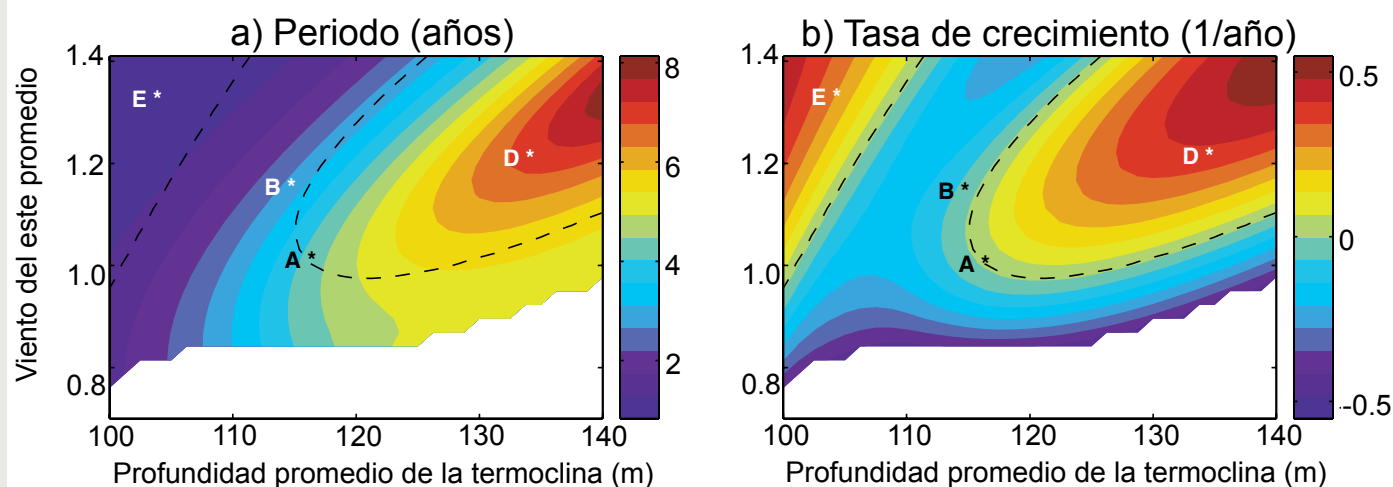


Figura 1. a) Periodo (años) y b) tasa de crecimiento (1/año) de las oscilaciones más inestables como función de la profundidad de la termoclina (m) y los vientos alisios del este ($0.5 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) ecuatorial promedio en un modelo simplificado de ENOS. (Adaptado de Fedorov y Philander, 2000).

Influencia de la variabilidad decadal en El Niño-Oscilación Sur

Takahashi K. & Dewitte B.

Ph. D. Boris Dewitte

Investigador Científico del
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et
Océanographie Spatiales



Ph. D. en Oceanografía Física de la Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia, e Ingeniero en mecánica de fluido de la Escuela Nacional de Aeronáutica y Espacio (Supaero). Desde el año 1999 es investigador científico del Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), donde se desempeña como especialista en oceanografía física y dinámica tropical. Forma parte de varios comités científicos internacionales, incluyendo el Scientific Steering Group del programa Climate Variability (CLIVAR). Es autor y revisor de diversos artículos científicos de revistas indexadas internacionales y recientemente su investigación está enfocada en la interacción océano-atmósfera en el Pacífico sur-este y cómo el cambio climático afecta la circulación oceánica y el ciclo hidrológico en la costa.

las corrientes ecuatoriales. Se debe notar, sin embargo, que este modelo no incluye todos los mecanismos posiblemente relevantes y estos resultados son una primera aproximación.

A pesar de sus limitaciones, los resultados anteriores nos muestran la importancia que pueden tener las variaciones lentas en el clima sobre ENOS, ya sean las naturales a escala decadal (ver Montecinos, 2015) o a escalas paleoclimáticas (ver Apaéstegui et al., 2015), así como asociadas al cambio climático producido por el hombre (ver Takahashi, 2014). Por otro lado, en simulaciones largas con un modelo climático se determinó que son necesarios 500 años de datos para correctamente caracterizar la variabilidad asociada a ENOS (Wittenberg, 2009), lo cual hace difícil detectar los cambios en ENOS en escalas multidecadales. Por lo anterior, el último reporte del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (Christensen et al., 2013; ver Takahashi, 2014) concluyó que hay baja confianza y poco consenso en si los cambios observados en ENOS puedan ser atribuidos a la influencia inducida por el hombre, a otros forzantes externos o a variabilidad natural.

Una pregunta de gran interés es ¿por qué los eventos El Niño extraordinario de 1982-1983 y 1997-1998, los más intensos registrados, ocurrieron con solo quince años de diferencia? Dicho de otra manera, ¿hubo algo de particular en el clima promedio en las décadas de los años 80 y 90 que hizo a este periodo más propicio para este tipo de eventos? Si fue así, ¿estuvo esto asociado a la variabilidad decadal natural o al calentamiento global? Finalmente, ¿en qué situación estamos ahora?

Experimentos con un modelo simplificado de ENOS mostraron que cuando se cambia el estado climático promedio del

observado en los años 60-70 al del periodo 80-90, los eventos El Niño simulados son más intensos y con periodo más largo (Figura 2; Wang y An, 2001; 2002). Según estos autores, el factor principal habría sido el debilitamiento de los vientos alisios del este (anomalías positivas en Figura 3b) y del afloramiento ecuatorial promedio que en general actúa amortiguando las fluctuaciones de temperatura (Wang y An, 2001; 2002). En la Figura 3 se observa la buena correspondencia entre la temperatura del mar medida según el índice denominado "Oscilación Decadal del Pacífico" (PDO, por sus siglas en inglés) y la anomalía de vientos del oeste a escala multianual. Por otro lado, a partir de finales de los 90, el Pacífico pasó a una nueva fase decadal fría con vientos del este ecuatoriales más intensos (Figura 3), lo cual parece haber propiciado un corrimiento hacia el oeste de las anomalías de TSM ecuatoriales asociadas al ENSO, así como una reducción en sus magnitudes (ej. Ashok et al., 2007; Lee y McPhaden, 2010). Además del amortiguamiento asociado al afloramiento promedio, otro factor que podría explicar el cambio en ENOS durante esta fase fría es que el incremento en el gradiente de temperatura superficial entre el Pacífico Oriental y Occidental puede contribuir a una mayor eficiencia del transporte oeste-este en generar anomalías de TSM en el Pacífico Central (ej. Kug et al., 2009; Choi et al., 2010). El aumento de este gradiente puede tener otro rol, ya que se asocia a enfriamiento en el Pacífico Oriental y Central, que reduce la posibilidad de la activación de lluvias intensas que retroalimentan a El Niño a través de su influencia en los vientos del oeste (Xiang et al., 2013; Chung y Li, 2013). La importancia de estas lluvias en la ocurrencia de El Niño extraordinario ha sido recientemente enfatizada por Takahashi y Dewitte (2015ab) particularmente en el Pacífico Oriental, donde las condiciones promedio de por sí frías dificultan la ocurrencia de lluvias intensas y solo las anomalías cálidas suficientemente elevadas activan esta retroalimentación que luego permite mayor crecimiento. Según lo anterior, en la medida de que continuemos en la fase decadal fría, es más difícil que ocurra un evento El Niño extraordinario. Por otro lado, las variaciones decadales en el viento del oeste pueden alterar la posibilidad de que el predictor basado en este mismo viento exceda el umbral que, de ser superado en agosto, aumenta la probabilidad de que El Niño crezca hasta el nivel extraordinario (Takahashi y Dewitte, 2015ab). Sin embargo, la existencia del umbral está asociada a la temperatura requerida para gatillar las tormentas (Takahashi y Dewitte, 2015a) pero esta temperatura umbral también podría variar decadalmente y un estudio sugiere que este umbral presenta una tendencia a aumentar, posiblemente asociada al cambio climático (Johnson y Xie, 2010). Otro posible factor es que en la fase cálida el océano es en promedio más estratificado, lo cual acopla mejor a los vientos con la dinámica oceánica y tiende a incrementar la amplitud de ENOS (Dewitte et al., 2007).

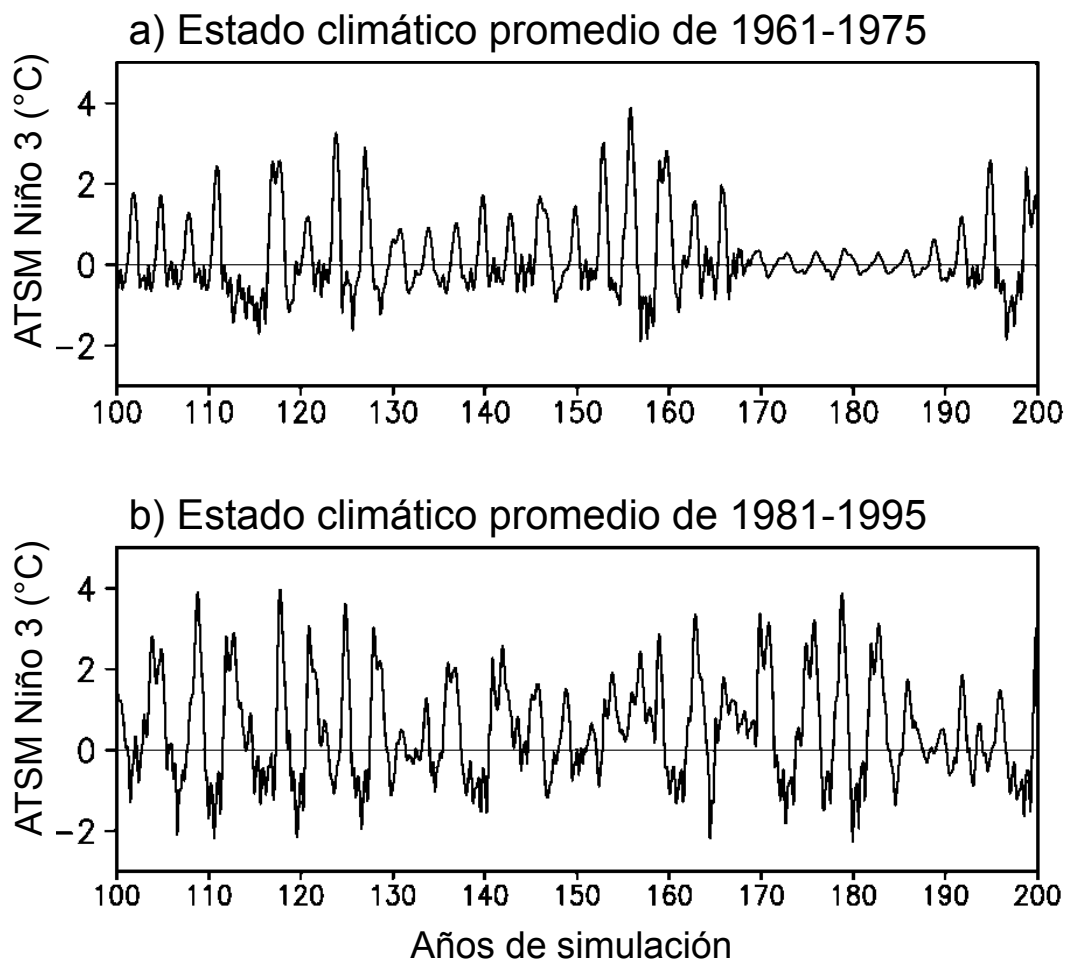


Figura 2. Anomalia de la TSM en la región Niño 3 en simulaciones usando un modelo simplificado de ENOS con estados climatológicos promedio correspondientes a los periodos a) 1961-1975 y b) 1981-1995. (Adaptado de Wang y An, 2001).

Otra perspectiva en el tema es que quizás las variaciones decadales en la estadística de ENOS no se deben a la modulación por un cambio lento en el clima promedio, sino a fluctuaciones estadísticas sin mayor explicación que el azar. Bajo esta óptica, las variaciones lentas en el estado climático promedio serían **consecuencia** de las variaciones en ENOS. En particular, debido a que El Niño y La Niña no son iguales en magnitud o patrón espacial, los patrones de calentamiento o enfriamiento obtenidos al promediar sobre periodos decadales se podrían explicar mediante las variaciones en la actividad de ENOS (Vimont, 2005; Choi et al., 2012; Rodgers et al., 2004). Recientemente, Wittenberg et al. (2014) estudiaron la predictabilidad de periodos decadales, donde ENOS presenta más o menos actividad. Para esto, analizaron simulaciones de miles de años con el modelo GFDL CM2.1 y encontraron que estos periodos ocurren simplemente como secuencias al azar, de la misma manera que al lanzar una moneda varias veces seguidas se puede obtener secuencias

largas de que salga cara. Esto contrasta con otras teorías que proponen que si bien las variaciones en ENOS pueden generar cambios aparentes en el estado climático promedio, estos cambios igual pueden afectar la variabilidad de ENOS, es decir que se propone una interacción bi-direccional entre ENOS y la variabilidad decadal (por ej. An y Choi, 2012; Choi et al., 2009; 2012). Por otro lado, Wittenberg et al. (2014) no pueden descartar que en la realidad exista variabilidad intrínsecamente decadal que modula a ENOS y que no esté representada por el modelo analizado.

Independientemente de su origen, las variaciones decadales en ENOS se manifiestan también en su predictabilidad. En un modelo sencillo, Kirtman y Schopf (1998) mostraron que los periodos donde ENOS era más activo eran no solo más cálidos y con anomalías de vientos del oeste, sino que también eran más predecibles ya que la física de ENOS era menos susceptible al ruido generado por la atmósfera. Esto es

Influencia de la variabilidad decadal en El Niño-Oscilación Sur

Takahashi K. & Dewitte B.

consistente con el análisis de Barnston et al. (2012), quienes encontraron que, a pesar de las mejoras en los modelos climáticos más sofisticados, los pronósticos para el periodo 2002-2011 fueron peores que para el periodo 1980-2010, debido a las variaciones de la predictabilidad de ENOS más que a cualquier cuestión técnica. Esta degradación de los pronósticos es particularmente pronunciada en el Pacífico Oriental, donde ya de por sí los pronósticos no son buenos en general (Reupo y Takahashi, 2014). Por otro lado, como muchos modelos, el NOAA CFSv2 deriva desde condiciones iniciales realistas hacia un estado promedio propio del modelo no tan realista y, en este proceso, perdió la capacidad de distinguir las diferencias en la actividad de ENOS entre los periodos 1982-1998 y 1999-2010, particularmente la reducción en la variabilidad en el Pacífico Oriental (Xue et al., 2013).

Con respecto al presente año, varios modelos climáticos

pronostican el incremento de El Niño en el Pacífico Central hacia finales de 2015, con anomalías comparables a las de El Niño extraordinario 1997-1998, aunque la magnitud para el Pacífico Oriental es bastante más incierta (ENFEN, 2015). En la medida en que el estado climático promedio continúe en una fase decadal fría, se puede esperar menores probabilidades de El Niño extraordinario. Es posible que los modelos de pronóstico estén subestimando este efecto y exagerando el crecimiento de El Niño. Por otro lado, el índice de la "Oscilación Decadal del Pacífico" ha presentado un fuerte incremento desde el año 2014, asociado a un calentamiento frente a la costa de Norteamérica (Figura 3a), y la anomalía del viento del oeste también ha aumentado sustancialmente (Figura 3b). Si bien es muy pronto para decir, esto podría marcar el inicio de una nueva fase decadal cálida y un aumento en la probabilidad de El Niño extraordinario. En este momento no se puede descartar nada.

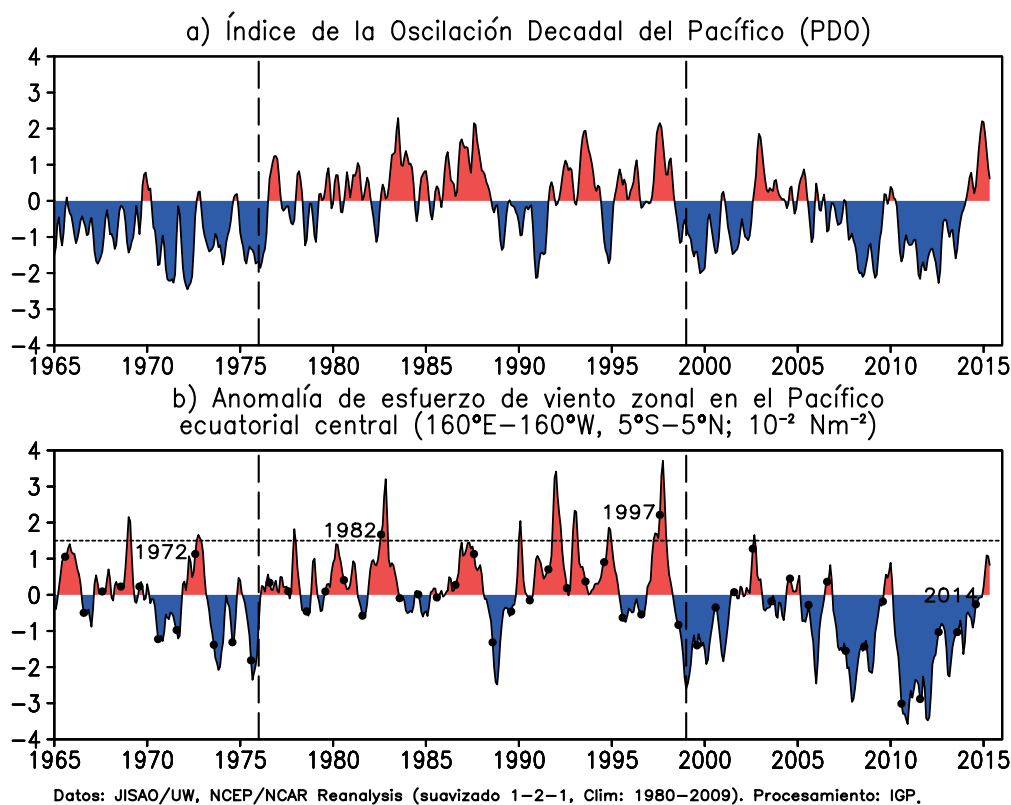


Figura 3. a) Índice mensual de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), basado en la TSM en el Pacífico al norte de 20°N, b) Anomalía del esfuerzo de viento del oeste en el Pacífico Ecuatorial Central, con los valores de agosto indicados por círculos y el umbral correspondiente para El Niño extraordinario (Takahashi y Dewitte, 2015) como línea punteada. Las líneas entrecortadas indican aproximadamente los cambios de fase decadal.

Referencias

An, S.-I., J. Choi, 2012: Inverse relationship between the equatorial eastern Pacific annual-cycle and ENSO amplitudes in a coupled general circulation model, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-012-1403-3.

Apaéstegui, J., K. Takahashi, L. Ortlieb, A. Sifeddine, J. Macharé, 2015: El Fenómeno El Niño durante el último milenio, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 2, N°2, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

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), 631-651, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00111.1>.

Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97 (3), 163-172.

Choi, J., S.-I. An, J. S. Kug, S.-W. Yeh, 2010: The role of mean state on changes in El Niño's flavor, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-010-0912-1.

Choi, J., S.-I. An, B. Dewitte, and W. W. Hsieh, 2009: Interactive feedback between the tropical Pacific decadal oscillation and ENSO in a coupled general circulation model, *Journal of Climate*, 22, 6597-6611.

Choi, J., S.-I. An, S.-W. Yeh, 2012: Decadal amplitude modulation of two types of ENSO and its relationship with the mean state, *Climate Dynamics*, 38, 2631-2644.

Christensen, J. H., et al., 2013: *Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change*, Capítulo 14 en *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Chung, P., T. Li, 2013: Interdecadal relationship between the mean state and El Niño types, *Journal of Climate*, doi:10.1175/JCLI-D-12-00106.1.

Dewitte, B., S.-W. Yeh, B.-K. Moon, C. Cibot, L. Terray, 2007: Rectification of the ENSO variability by interdecadal changes in the equatorial background mean state in a CGCM simulation, *Journal of Climate*, 20 (10), 2002–2021.

Dewitte, B., K. Takahashi, K. Mosquera, 2014: Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: Más allá del Oscilador Carga-Descarga, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°8, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

ENFEN, 2015: Comunicado Oficial ENFEN 08-2015.

Fedorov, A. V., and S. G. Philander, 2000: Is El Niño changing?, *Science*, 288, 1997-2002, doi: 10.1126/science.288.5473.1997.

Fedorov, A. V., and S. G. Philander, 2001: A stability analysis of tropical ocean-atmosphere interactions: Bridging measurements and theory for El Niño, *Journal of Climate*, 14, 3086-3101.

Johnson, N., S.-P. Xie, 2010: Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection, *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/ngeo1008.

Kirtman, B. P., and P. S. Schopf, 1998: Decadal variability in ENSO predictability and prediction, *Journal of Climate*, 11, 2804-2822, doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2804:DVIEPA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2804:DVIEPA>2.0.CO;2).

Kug, J.-S., F.-F. Jin, S.-I. An, 2009: Two-types of El Niño events: cold tongue El Niño and warm pool El Niño, *Journal of Climate*, 22, 1499–1515.

Lee, T., and M. J. McPhaden, 2010: Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific, *Geophysical Research Letters*, 37, L14603, doi: 10.1029/2010GL044007.

Montecinos, A., 2015: Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 2, N°1, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

Reupo, J., K. Takahashi, 2014: Variabilidad decadal de la bondad de los pronósticos con modelos climáticos globales, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°8, 9-10, Instituto Geofísico del Perú.

Rodgers, K., P. Friederichs, M. Latif, 2004: Tropical Pacific decadal variability and its relation to decadal modulations of ENSO, *Journal of Climate*, 17(19):3761–3774.

Takahashi, K., 2014: El Niño y el cambio climático, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°5, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., y B. Dewitte, 2015a: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2665-3.

Takahashi, K., y B. Dewitte, 2015b: Física de El Niño extraordinario, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 2, N°4, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

Vimont, D. J., 2005: The contribution of the interannual ENSO cycle to the spatial pattern of decadal ENSO-like variability, *Journal of Climate*, 18, 2080-2092.

Wang, B., and S.-I. An, 2001: Why the properties of El Niño changed during the late 1970s, *Geophysical Research Letters* 28 (19), 3709–3712.

Wang, B., and S.-I. An, 2002: A mechanism for decadal changes of ENSO behavior: roles of background wind changes, *Climate Dynamics*, 18 (6), 475-486.

Wittenberg, A., 2009: Are historical records sufficient to constrain ENSO simulations?, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2009GL038710.

Wittenberg, A., A. Rosati, T. L. Delworth, G. A. Vecchi, F. Zeng, 2014: ENSO modulation: Is it decadal predictability?, *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-13-00577.1.

Xiang, B., B. Wang, T. Li, 2012: A new paradigm for the predominance of standing Central Pacific Warming after the late 1990s, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-012-1427-8.

Xue, Y., M. Chen, A. Kumar, Z. Hu, W. Wang, 2013: Prediction skill and bias of tropical Pacific sea surface temperatures in the NCEP Climate Forecast System version 2, *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00600.