



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

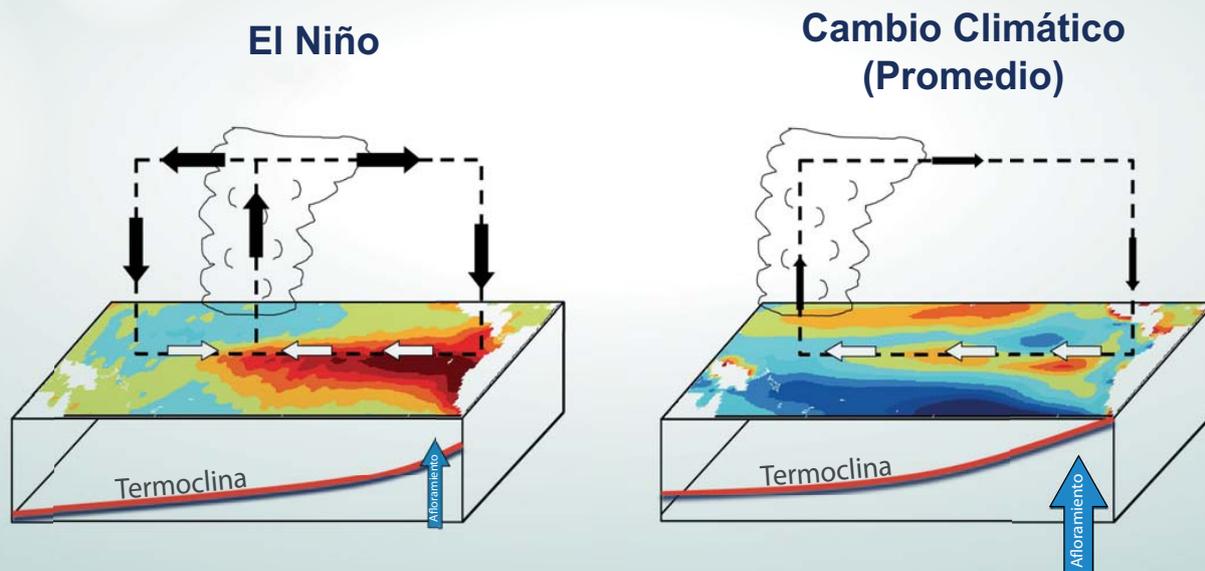
Instituto
Geofísico del Perú - IGP



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



Condiciones océano - atmósfera en el Pacífico tropical según el informe del IPCC (2013)

Artículo de Divulgación Científica

El Niño y el Cambio Climático

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) fue establecido en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con la finalidad de proporcionar una visión clara del estado actual del conocimiento científico sobre el cambio climático y sus impactos potenciales. Está integrado voluntariamente por miles de científicos de países miembros de las Naciones Unidas y la OMM y sus reportes son reconocidos y utilizados como base para la toma de decisiones relacionadas al cambio climático

El Grupo de Trabajo 1 (WG1) del IPCC proporciona la evaluación de la base de la ciencia física del cambio climático. De su V Reporte de Evaluación (AR5)*, publicado en 2013, se extraen las siguientes conclusiones sobre la relación entre El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y el cambio climático.

Pasado:

- ENOS presenta modulaciones considerables en amplitud y patrón espacial dentro del registro instrumental.
- Modelos climáticos sin cambios en forzantes externos (humanos o naturales) presentan modulaciones similares a las observadas.
- 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.

Futuro:

- Los modelos climáticos son más realistas en la representación de ENOS y en el estado climático base en el Pacífico tropical, pero continúan mostrando errores sistemáticos persistentes en propiedades importantes del estado medio.
- La evaluación cuantitativa detallada de la performance de ENOS en los modelos está limitada por el corto registro observacional de procesos clave y la complejidad y diversidad de los procesos involucrados.
- Hay alta confianza en que ENOS muy probablemente continuará siendo el modo dominante de variabilidad interanual en el futuro.
- Las modulaciones naturales interdecadales de la amplitud y patrón espacial de ENOS son tan grandes en los modelos que continúa una baja confianza en cualquier cambio específico proyectado en su variabilidad en el siglo XXI.
- Debido a una mayor disponibilidad de humedad atmosférica, la variabilidad en precipitación a escala regional probablemente se intensificará.
- Se proyecta para el futuro, con confianza media, un



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

Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EE.UU. 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.

desplazamiento hacia el este en los patrones de variación en temperatura y precipitación en el Pacífico norte y América del Norte relacionados con El Niño y La Niña (teleconexiones).

- Otras implicancias regionales, incluyendo aquellas en Centro y Sudamérica, el Caribe, África, y la mayoría de las islas del Pacífico, son más inciertas.

En resumen, es incierto si la variabilidad en temperatura asociada a ENOS será mayor o no en el futuro. Por otro lado, aún si esto no ocurre, el calentamiento medio haría a El Niño más cálido aún y también es probable que a grandes rasgos las lluvias asociadas a El Niño serían más intensas debido a la mayor humedad del aire. Si esto es cierto para la costa norte, los impactos de El Niño podrían ser más intensos en el futuro.

Sin embargo, las proyecciones para la costa del Perú son dudosas dado que casi todos los modelos sufren de errores persistentes en esta región en la simulación del clima presente. Particularmente relevantes para el Perú son: a) un sesgo cálido promedio en la temperatura del mar en la costa de Sudamérica, y b) una excesiva precipitación en el Pacífico sureste en promedio, problema conocido como la "doble ZCIT" (zona de convergencia intertropical).

A pesar de que estos errores sistemáticos fueron documentados hace casi 20 años¹, la comunidad científica internacional ha progresado poco en su solución, en parte por la complejidad del problema, pero también por ser temas de relativamente baja prioridad para los demás países. Es esencial que en el Perú se desarrolle la investigación científica básica de alto nivel requerida para atacar estos problemas que impiden contar con información confiable sobre el cambio climático y El Niño en nuestro país.

*<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

Traducción selectiva del reporte AR5 IPCC WG1

A continuación, una traducción literal de pasajes seleccionados del capítulo 14 del V reporte del WG1 del IPCC². La numeración de las secciones es la usada en dicho reporte.

14. Fenómenos climáticos y su relevancia para el cambio climático regional futuro

Resumen ejecutivo

El realismo de la representación de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) en los modelos climáticos está aumentando y los modelos continúan simulando variabilidad de ENOS en el futuro. Por lo tanto, hay *alta confianza* en que ENOS muy

probablemente continuará siendo el modo dominante de variabilidad interanual en el futuro y, debido a una mayor disponibilidad de humedad atmosférica, la variabilidad en precipitación a escala regional probablemente se intensificará. Un desplazamiento hacia el este en los patrones de variación en temperatura y precipitación en el Pacífico norte y América del Norte relacionados con El Niño y La Niña (teleconexiones) se proyecta para el futuro, pero con *confianza media*, mientras que otras implicancias regionales, incluyendo aquellas en Centro y Sudamérica, el Caribe, África, y la mayoría de las islas del Pacífico, son más inciertas. Sin embargo, las modulaciones naturales de la varianza y patrón espacial de ENOS son tan grandes en los modelos que la *confianza* en cualquier cambio específico proyectado en su variabilidad en el siglo XXI se mantiene *baja*.

14.4.2 Cambios en El Niño en décadas recientes y en el futuro

La modulación de la amplitud de ENOS en escalas más largas de tiempo ha sido analizada en registros observacionales reconstruidos^{3,4,5,6,7,8,9,10} (Sección 5.4.1), en registros (*proxy*) paleoclimáticos^{11,12,13,14}, y también simulados por modelos acoplados de circulación general (modelos climáticos que incorporan en la forma más completa prácticamente posible la física del océano y la atmósfera)^{15,16}. Algunos estudios han sugerido que la modulación se debió a cambios en las condiciones climáticas medias en el Pacífico tropical^{8,17,18,13} observadas desde los años 80^{19,8,17,20}. Con tres eventos durante 2000-2010 cuya intensidad en la región Niño 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W) fue mayor que en la Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), dos eventos durante 1990-2000 y solo dos eventos hallados entre 1950-1990, el máximo calentamiento de la TSM durante El Niño ahora parece ocurrir más frecuentemente en el Pacífico central (Figura 14.13^{21,22,23}; Sección 9.5.3.4.1 y Sección de Material Suplementario 14.SM.2²⁴), con impactos globales distintos a los de eventos El Niño “estándar” donde el máximo calentamiento es sobre el Pacífico oriental^{25,21,22,26}. Durante el siglo pasado, también fue observada una tendencia de aumento en la amplitud de ENOS^{13,27}, posiblemente causada por un clima en calentamiento^{28,20}, aunque otras reconstrucciones en esta región de escasos datos disputan esta tendencia²⁹.

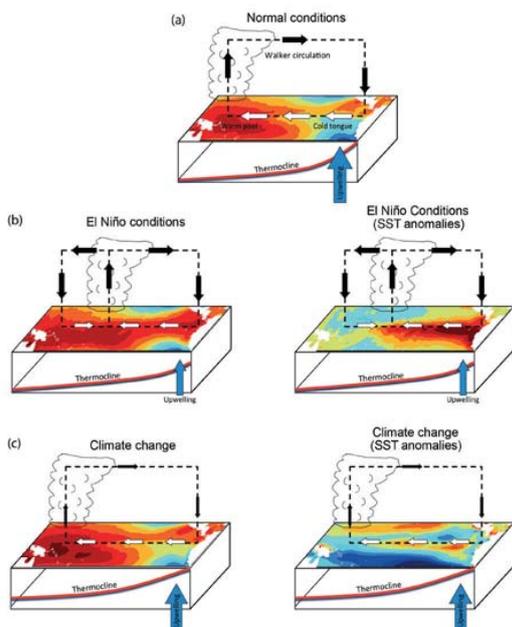


Figura 14.12 | Esquema idealizado mostrando condiciones atmosféricas y oceánicas del Pacífico tropical y sus interacciones durante condiciones normales, El Niño, y en un mundo más cálido. (a) Condiciones promedio en el Pacífico tropical, indicando temperatura superficial del mar (TSM), esfuerzo de viento superficial y circulación de Walker asociada, la posición media de la convección y el afloramiento promedio y posición de la termoclina. (b) Condiciones típicas durante un evento El Niño. La TSM es anómalamente cálida en el este; la convección se desplaza al Pacífico central; los vientos alisios se debilitan en el este y la circulación de Walker es perturbada. (c) Condiciones probables bajo cambio climático derivadas de observaciones, teoría y modelos acoplados de circulación general. Los vientos alisios se debilitan; la termoclina se aplatina y su profundidad vertical de temperatura promedio aumenta; y la TSM (mostrada en anomalías con respecto al calentamiento medio tropical) aumenta más en el Ecuador que fuera de este. Los diagramas campos de TSM absoluta se muestran en la izquierda, con anomalías de TSM en la derecha. Para los campos de cambio climático, las anomalías se expresan con respecto al promedio del calentamiento de la cuenca, de manera que los colores azules indican un menor calentamiento relativo al promedio de la cuenca, no un enfriamiento (Collins et al., 2010).

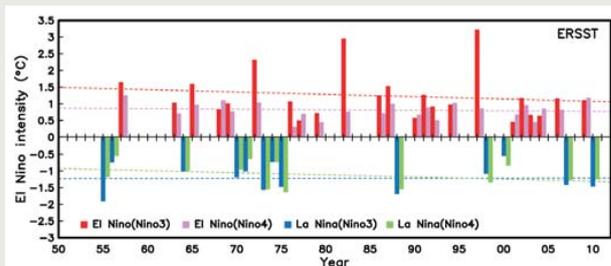


Figura 14.13 | Intensidades de eventos El Niño y La Niña en los últimos 60 años en el Pacífico ecuatorial oriental (región Niño 3) y central (región Niño 4), y tendencias lineales estimadas usando el producto Extended Reconstructed Sea Surface Temperature v3 (ERSSTv3).

Simulaciones largas con modelos acoplados de circulación general muestran que se puede generar modulaciones de ENOS a escalas decadales y centenales sin necesidad de cambio en los forzantes externos^{**16,38}, con épocas multi-decadales de comportamiento anómalo de ENOS. Las modulaciones resultan de procesos no-lineales en el sistema climático tropical³¹, la interacción con el estado climático medio^{32,33,34,35}, o de cambios aleatorios en la actividad de ENOS generados por variabilidad atmosférica caótica^{36,37}. Hay poco consenso en si las modulaciones decadales de las propiedades de ENOS (amplitud y patrón espacial) durante las décadas recientes se deben a efectos antrópicos o variabilidad natural. Los registros instrumentales de TSM son disponibles a partir del 1850, pero buenas observaciones de las retroalimentaciones aire-mar que controlan el comportamiento de ENOS (incluyendo las fluctuaciones en temperatura y corrientes subsuperficiales e intercambios aire-mar de calor, *momentum* y agua) solo son disponibles después de finales de los años 70, haciendo las variaciones históricas en las retroalimentaciones de ENOS observadas^{38,39}.

Los modelos CMIP5^{***} muestran alguna mejora comparado con CMIP3, especialmente en la amplitud de ENOS (Sección 9.5.3.4.1). Modelos CMIP5 selectos que simulan bien los eventos El Niño fuertes muestran un gradual aumento en la intensidad de El Niño, especialmente en el Pacífico central⁴⁰. Los modelos CMIP3 sugieren un desplazamiento al oeste de la variabilidad de TSM en proyecciones futuras^{41,24}. Generalmente, sin embargo, los cambios futuros en la intensidad de El Niño en los modelos CMIP5 son dependientes de los modelos^{42,40,43} y no se distinguen significativamente de modulaciones naturales⁴⁴ (Figura 14.14). Debido a que el cambio en las condiciones tropicales promedio (especialmente el gradiente zonal) en un clima en calentamiento es dependiente de los modelos (Sección 14.4.1), los cambios en la intensidad de ENOS para el siglo XXI^{45,46} son inciertos (Figura 14.14). Cambios futuros en ENOS dependen de cambios en las retroalimentaciones océano-atmósfera que compiten entre sí^{47,48,49}, y del régimen dinámico en el que cada modelo se encuentre. Sin embargo, hay alta confianza en que ENOS continuará siendo el modo dominante de variabilidad climática natural en el siglo^{48,42,40,44}.

14.4.3 Teleconexiones

En un clima en calentamiento, el aumento en la humedad atmosférica intensifica la variabilidad temporal de la precipitación aún si la variabilidad en la circulación atmosférica se mantiene

igual⁵⁰ (Sección 12.4.5). Esto se aplica a la variabilidad de la precipitación asociada a ENOS pero la posibilidad de cambios en las teleconexiones de ENOS complica esta conclusión general, haciéndola algo dependiente de la región⁵¹.

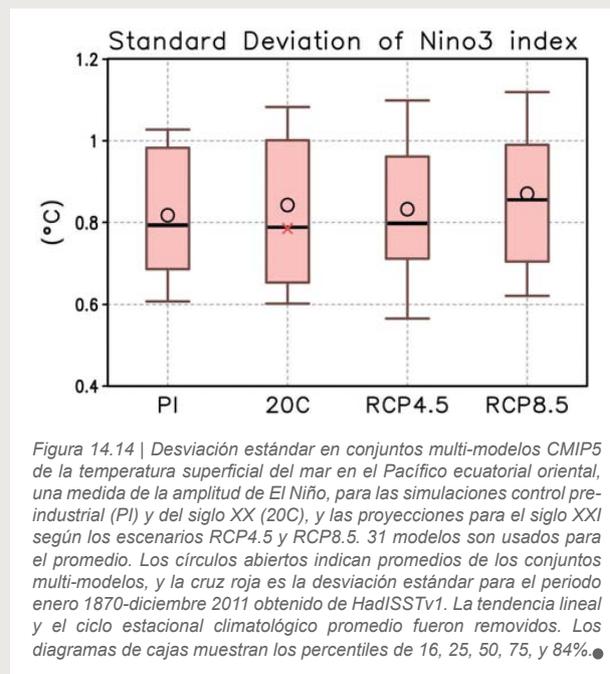


Figura 14.14 | Desviación estándar en conjuntos multi-modelos CMIP5 de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial oriental, una medida de la amplitud de El Niño, para las simulaciones control pre-industrial (PI) y del siglo XX (20C), y las proyecciones para el siglo XXI según los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. 31 modelos son usados para el promedio. Los círculos abiertos indican promedios de los conjuntos multi-modelos, y la cruz roja es la desviación estándar para el periodo enero 1870-diciembre 2011 obtenido de HadISSTv1. La tendencia lineal y el ciclo estacional climatológico promedio fueron removidos. Los diagramas de cajas muestran los percentiles de 16, 25, 50, 75, y 84%. ●

14.4 Resumen de la evaluación

ENOS presenta modulaciones interdecadales considerables en amplitud y patrón espacial dentro del registro instrumental. Modelos sin cambios en forzantes externos presentan modulaciones similares y hay poco consenso en si los cambios observados en ENOS se deben a forzantes externos o variabilidad natural (ver también Sección 10.3.3 para una discusión de la atribución).

Hay alta confianza en que ENOS continuará siendo el modo dominante de variabilidad interanual con influencias globales en el siglo XXI y, debido a cambios en la disponibilidad de humedad, la variabilidad de la lluvia en escalas regionales inducida por ENOS se intensificará. Hay confianza media en que los patrones de teleconexión inducidos por ENOS se desplazarán hacia el este sobre el Pacífico norte y América del Norte. Hay baja confianza en los cambios en la intensidad y patrón espacial de El Niño en un clima en calentamiento.

^{***}Forzantes externos" incluyen tanto los producidos por el hombre (gases invernadero, aerosoles, cambio de uso de suelo) como los naturales (fluctuaciones solares, aerosoles volcánicos).

^{***}CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) es el proyecto que coordina los experimentos realizados con los modelos climáticos de centros internacionales de modelado como aporte a los reportes del IPCC. CMIP5 corresponde al 5to reporte (2013), CMIP3 al 4to reporte (2007).

● Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie and T. Zhou, 2013: Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Referencias

1. Mechoso CR, Robertson AW, Barth N, Davey MK, Delecluse P, Gent PR, Ineson S, Kirtman BP, Latif M, Le Treut H, Nagai T, Neelin JD, Philander SGH, Polcher J, Schopf PS, Stockdale T, Suarez MJ, Terray L, Thual O, Tribbia JJ, 1995: The seasonal cycle over the tropical Pacific in coupled ocean-atmosphere general circulation models, *Monthly Weather Review* 123, 2825-2838.
2. Christensen et al., 2013: *Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change*, Capítulo 14 de *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
3. Gu, D. F., and S. G. H. Philander, 1995: Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century. *J. Clim.*, 8, 864-876.
4. Wang, B., 1995: Interdecadal changes in El-Niño onset in the last four decades. *J. Clim.*, 8, 267-285.
5. Mitchell, T. P., and J. M. Wallace, 1996: ENSO seasonality: 1950-78 versus 1979-92. *J. Clim.*, 9, 3149-3161.
6. Wang, B., and Y. Wang, 1996: Temporal structure of the Southern Oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. *J. Clim.*, 9, 1586-1598.
7. Power, S., T. Casey, C. Folland, A. Colman, and V. Mehta, 1999: Interdecadal modulation of the impact of ENSO on Australia. *Clim. Dyn.*, 15, 319-324.
8. An, S. I., and B. Wang, 2000: Interdecadal change of the structure of the ENSO mode and its impact on the ENSO frequency. *J. Clim.*, 13, 2044-2055.
9. Yeh, S. W., and B. P. Kirtman, 2005: Pacific decadal variability and decadal ENSO amplitude modulation. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05703.
10. Power, S. B., and I. N. Smith, 2007: Weakening of the Walker Circulation and apparent dominance of El Niño both reach record levels, but has ENSO really changed? *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18702.
11. Cobb, K. M., C. D. Charles, H. Cheng, and R. L. Edwards, 2003: El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. *Nature*, 424, 271-276.
12. Braganza, K., J. Gergis, S. Power, J. Risbey, and A. Fowler, 2009: A multiproxy index of the El Niño-Southern Oscillation, AD 1525-1982. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 114, D05106.
13. Li, J. B., et al., 2011c: Interdecadal modulation of El Niño amplitude during the past millennium. *Nature Clim. Change*, 1, 114-118.
14. Yan, H., L. G. Sun, Y. H. Wang, W. Huang, S. C. Qiu, and C. Y. Yang, 2011: A record of the Southern Oscillation Index for the past 2,000 years from precipitation proxies. *Nature Geosci.*, 4, 611-614.
15. Lau, K., et al., 2008: The Joint Aerosol-Monsoon Experiment—A new challenge for monsoon climate research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-89-3-369, 369-383.
16. Wittenberg, A. T., 2009: Are historical records sufficient to constrain ENSO simulations? *Geophys. Res. Lett.*, 36, L12702.
17. Fedorov, A. V., and S. G. Philander, 2000: Is El Niño changing? *Science*, 288, 1997-2002.
18. Wang, B., and S. I. An, 2001: Why the properties of El Niño changed during the late 1970s. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3709-3712.
19. An, S. I., and F. F. Jin, 2000: An Eigen analysis of the interdecadal changes in the structure and frequency of ENSO mode. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2573-2576.
20. Kim, B. M., and S. I. An, 2011: Understanding ENSO regime behavior upon an increase in the warm-pool temperature using a simple ENSO model. *J. Clim.*, 24, 1438-1450.
21. Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Y. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res. Oceans*, 112, C11007.
22. Kao, H. Y., and J. Y. Yu, 2009: Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific types of ENSO. *J. Clim.*, 22, 615-632.
23. Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An, 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Clim.*, 22, 1499-1515.
24. Yeh, S. W., J. S. Kug, B. Dewitte, M. H. Kwon, B. P. Kirtman, and F. F. Jin, 2009: El Niño in a changing climate. *Nature*, 461, 511-515.
25. Kumar, V., R. Deo, and V. Ramachandran, 2006a: Total rain accumulation and rain-rate analysis for small tropical Pacific islands: A case study of Suva, Fiji. *Atmos. Sci. Lett.*, 7, 53-58.
26. Hu, Z., A. Kumar, B. Jha, W. Wang, B. Huang, and B. Huang, 2012b: An analysis of warm pool and cold tongue El Niños: Air-sea coupling processes, global influences, and recent trends. *Clim. Dyn.*, 38, 2017-2035.
27. Vance, T. R., T. D. van Ommen, M. A. J. Curran, C. T. Plummer, and A. D. Moy, 2012: A millennial proxy record of ENSO and eastern Australian rainfall from the Law Dome ice core, East Antarctica. *J. Clim.*, 26, 710-725.
28. Zhang, Q., Y. Guan, and H. Yang, 2008: ENSO amplitude change in observation and coupled models. *Adv. Atmos. Sci.*, 25, 361-366.
29. Giese, B., and S. Ray, 2011: El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871-2008. *J. Geophys. Res. Oceans*, 116, 10.1029/2010JC006695.
30. Yeh, S.-W., B. P. Kirtman, J.-S. Kug, W. Park, and M. Latif, 2011: Natural variability of the central Pacific El Niño event on multi-centennial timescales. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L02704.
31. Timmermann, A., F. F. Jin, and J. Abshagen, 2003: A nonlinear theory for El Niño bursting. *J. Atmos. Sci.*, 60, 152-165.
32. Ye, Z. Q., and W. W. Hsieh, 2008: Changes in ENSO and associated overturning circulations from enhanced greenhouse gases by the end of the twentieth century. *J. Clim.*, 21, 5745-5763.
33. 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. *J. Clim.*, 22, 6597-6611.
34. Choi, J., S.-I. An, J.-S. Kug, and S.-W. Yeh, 2011: The role of mean state on changes in El Niño's flavor. *Clim. Dyn.*, 37, 1205-1215.
35. Choi, J., S. An, and S. Yeh, 2012: Decadal amplitude modulation of two types of ENSO and its relationship with the mean state. *Clim. Dyn.*, 38, 2631-2644.
36. Power, S., and R. Colman, 2006: Multi-year predictability in a coupled general circulation model. *Clim. Dyn.*, 26, 247-272.
37. Power, S., M. Haylock, R. Colman, and X. Wang, 2006: The predictability of interdecadal changes in ENSO activity and ENSO teleconnections. *J. Clim.*, 19, 4755-4771.
38. Chen, D., 2003: A comparison of wind products in the context of ENSO prediction. *Geophys. Res. Lett.*, 30, doi: 10.1029/2002GL016121.
39. Wittenberg, A., 2004: Extended wind stress analyses for ENSO. *J. Clim.*, 17, 2526-2540.
40. Kim, S. T., and J.-Y. Yu, 2012: The two types of ENSO in CMIP5 models. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2012GL052006.
41. Boer, G., 2009: Changes in interannual variability and decadal potential predictability under global warming. *J. Clim.*, 22, 3098-3109.
42. Gullyardi, E., H. Bellenger, M. Collins, S. Ferrett, W. Cai, and A. Wittenberg, 2012: A first look at ENSO in CMIP5. *CLIVAR Exchanges*, 58, 29-32.
43. Stevenson, S., B. Fox-Kemper, M. Jochum, R. Neale, C. Deser, and G. Meehl, 2012: Will there be a significant change to El Niño in the twenty-first century? *J. Clim.*, 25, 2129-2145.
44. Stevenson, S. L., 2012: Significant changes to ENSO strength and impacts in the twenty-first century: Results from CMIP5. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2012GL052759.
45. Solomon, A., and M. Newman, 2011: Decadal predictability of tropical Indo-Pacific Ocean temperature trends due to anthropogenic forcing in a coupled climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi: 10.1029/2010GL045978.
46. Hu, Z., A. Kumar, B. Jha, and B. Huang, 2012a: An Analysis of Forced and internal variability in a warmer climate in CCSM3. *J. Clim.*, 25, 2356-2373.
47. Philip, S., and G. Van Oldenborgh, 2006: Shifts in ENSO coupling processes under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi: 10.1029/2006GL026196.
48. Collins, M., et al., 2010: The impact of global warming on the tropical Pacific ocean and El Niño. *Nature Geosci.*, 3, 391-397.
49. Vecchi, G., and A. Wittenberg, 2010: El Niño and our future climate: Where do we stand? *WIREs Clim Change*, 1, 260-270.
50. Trenberth, K.E., 2011: Changes in precipitation with climate change. *Climate Res.*, 47, 123-138.
51. Seager, R., N. Naik, and L. Vogel, 2012: Does Global Warming Cause Intensified Interannual Hydroclimate Variability? *J. Clim.*, 25, 3355-3372.