



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



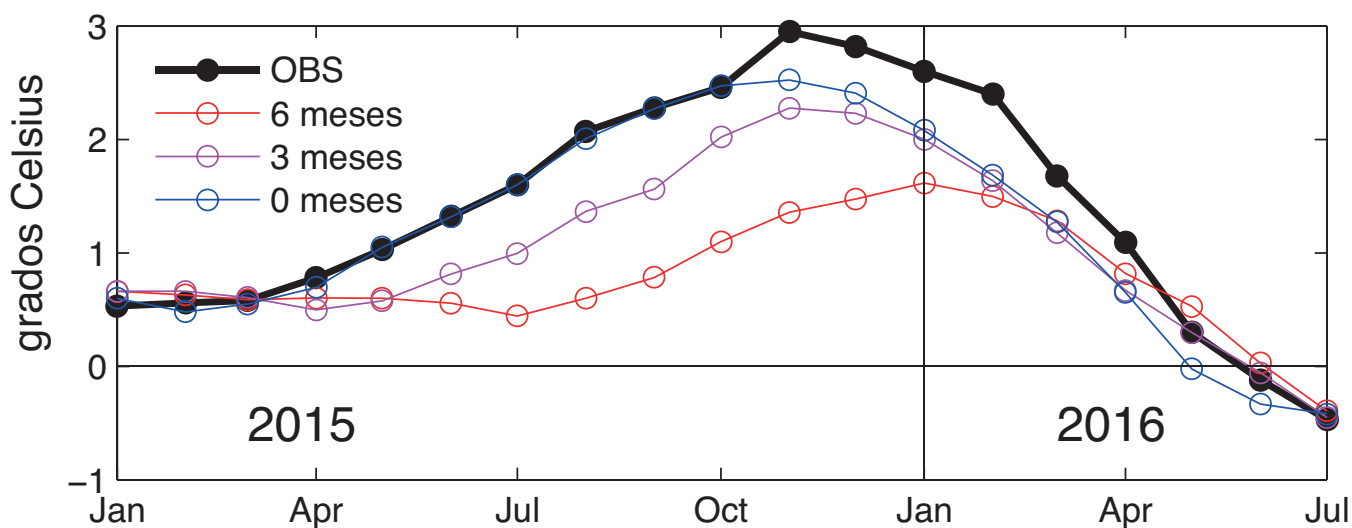
Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

Predictibilidad de El Niño-Oscilación del Sur

Anom. TSM Niño 3.4: observado y pronosticado con diferentes tiempos de anticipación



Contenido

2 - 3 **Introducción**

4 - 8 **Artículo de Divulgación Científica**

9 - 10 **Avances Científicos**

11 - 13 **Resumen Informe Técnico**

14 - 15 **Comunicado Oficial ENFEN**

Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.
Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”.

Actividad: “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”.

Elsa Galarza Contreras
Ministra del Ambiente

Ronald Woodman
Presidente Ejecutivo IGP

José Macharé
Director Científico IGP

Ken Takahashi
Responsable Producto El Niño - IGP

Equipo científico: Ken Takahashi, Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura

Edición: Cristiana Leucci
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Montecinos, 2016

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
IV Etapa - Ate
Teléfono (511) 3172300

Impreso por: Editora y comercializadora cartolan EIRL
Pasaje Atlántida N°113 – Lima

Lima, Agosto del 2016

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-11026

Introducción

El Programa Presupuestal por Resultados (PPR) es una estrategia de gestión pública que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población. Dichos resultados se vienen implementando progresivamente a través de los programas presupuestales, las acciones de seguimiento del desempeño sobre la base de indicadores, las evaluaciones y los incentivos a la gestión, entre otros instrumentos que determina el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través de la Dirección General de Presupuesto Público, en colaboración con las demás entidades del Estado.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”, que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural océano-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual incluye la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances científicos y noticias relacionadas a este tema, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Además, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será diseminada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en:
www.igp.gob.pe/sysppr.



IGP



ENFEN

El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico. En el marco del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.

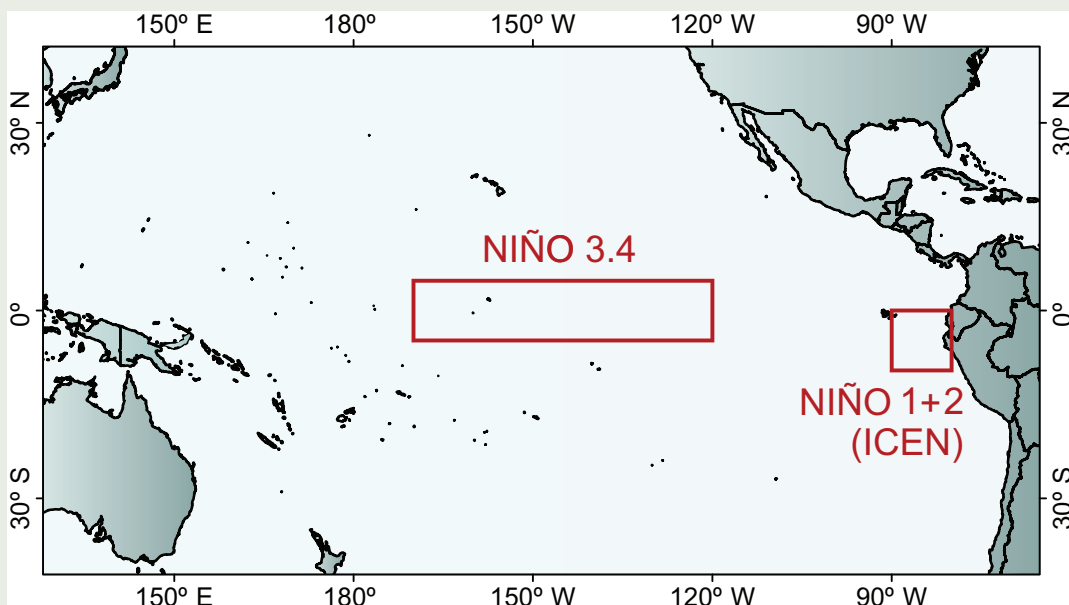
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Según Resolución Ministerial 761-97-PE, el ENFEN tiene entre sus funciones el “mantener informado sobre la posible ocurrencia del Fenómeno El Niño, para que con ello se permita adoptar decisiones para adecuar y proteger la infraestructura existente en los distintos sectores, en prevención a los posibles daños que pudiera causar este fenómeno a la economía nacional y la población peruana”, así como “orientar a los diversos sectores medidas pragmáticas de previsión que permitan reducir daños y/o aprovechar beneficios”.

Para este fin, el ENFEN realiza el pronóstico, monitoreo y estudio continuo de las anomalías del océano y la atmósfera del mar peruano y a nivel global, a través de la elaboración de estudios y análisis científicos basados en la información proveniente de diversas redes de observación y modelos de variables oceanográficas, meteorológicas, hidrológicas y biológico-pesqueras. También, al menos mensualmente, emite pronunciamientos que son “preparados colegiadamente, acopiando la mejor información científica disponible y de competencia de cada institución respecto de su sector y genera la información técnica en forma colegiada para su difusión a los usuarios”.

Además, un objetivo central del ENFEN es “estudiar el Fenómeno El Niño, con el fin de lograr una mejor comprensión del mismo, poder predecirlo y determinar sus probables consecuencias”, lo cual se desarrolla mediante la investigación científica.

El ENFEN es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.



El mapa muestra las dos regiones que definen los principales índices de temperatura superficial del mar utilizadas para monitorizar El Niño y La Niña. La región Niño 1+2 (90°-80°W, 10°S-0°), en la que se basa el Índice Costero El Niño (ICEN), se relaciona con impactos en la costa peruana, mientras que la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) se asocia a impactos remotos en todo el mundo, incluyendo los Andes y Amazonia peruana.

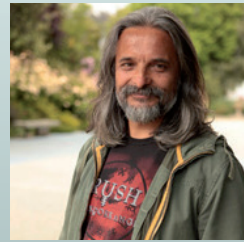
Predictibilidad de El Niño-Oscilación del Sur

Contexto histórico

El pronóstico estacional tiene como objetivo anticipar las fluctuaciones del clima en el corto plazo, es decir, anticipar las condiciones climáticas del próximo mes, estación o año¹. Hacia fines del siglo XIX, se hicieron los primeros intentos por desarrollar sistemas de pronósticos basados en ciclos recientemente descubiertos (manchas solares, bianual) y en el análisis de la creciente red de estaciones meteorológicas². Hoy en día, con el desarrollo de súper-computadores, un mejor entendimiento del sistema climático y el desarrollo de modelos numéricos complejos, los pronósticos estacionales o climáticos de corto-plazo se hacen rutinariamente³.

El descubrimiento de la Oscilación del Sur, componente atmosférica del Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), se produjo en las primeras décadas del siglo XX, como resultado de la búsqueda de predictores de las lluvias monzónicas, a través de la utilización de la correlación lineal como un estadístico que permitía encontrar relaciones útiles para anticipar las lluvias en India^{4,5}. Así, gracias a la búsqueda de mejores predictores, Sir Gilbert Walker descubrió un modo climático que ha resultado ser responsable de una parte significativa de la variabilidad interanual de muchas variables atmosféricas y oceanográficas en diferentes regiones del planeta^{6,7}. Debido a su reconocida importancia, ENOS se estableció desde hace algunas décadas como el principal objetivo de predicción estacional de los centros mundiales de pronóstico climático⁸.

Un paso fundamental en la comprensión de ENOS fue dado por Jacob Bjerknes hacia fines de los sesenta, al darse cuenta sobre la existencia del acoplamiento entre la atmósfera (la Oscilación del Sur) y el océano (El Niño) en el Pacífico Tropical⁹. De hecho, gracias a este acoplamiento, es posible pronosticar el ENOS mediante métodos estadísticos y dinámicos. A partir de entonces, el creciente entendimiento de la dinámica de ENOS ha permitido el desarrollo de modelos dinámicos (numéricos) y estadísticos capaces de pronosticar la aparición de los eventos El Niño y La Niña¹⁰. En particular, el evento El Niño de 1986-87 fue pronosticado satisfactoriamente por tres diferentes modelos numéricos, aunque su magnitud, junto con el momento de ocurrencia, no fueron perfectos¹¹.



Aldo Montecinos, Dr.
Profesor asociado, Departamento de Geofísica, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería - Instituto Milenio de Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

Doctor en Oceanografía de la Universidad de Concepción (Chile), Magister en Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Chile y Oceanógrafo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). Actualmente es Profesor Asociado en el Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Concepción. Su principal interés de investigación es la variabilidad climática en la región oriental del Pacífico Sur y en Sudamérica, en distintas escalas de tiempo. En particular, le interesan los procesos de interacción entre el océano y la atmósfera, especialmente aquellos que involucran teleconexiones entre el trópico y el extratropico, y tiene varias publicaciones sobre los impactos de El Niño-Oscilación Sur y sobre la variabilidad climática a escala interdecadal en el Pacífico Sur.

Desde entonces hemos podido presenciar fracasos y aciertos respecto de la capacidad de pronosticar (predictibilidad) con exactitud la ocurrencia de El Niño-La Niña.

Definiciones

Inicialmente, el análisis de la predictibilidad de los modelos para anticipar las condiciones de El Niño se basó en la comparación de las anomalías observadas y pronosticadas de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W). Esto a pesar de que, a comienzos de los ochenta, un grupo de trabajo de un comité internacional (*Scientific Committee for Ocean Research, SCOR*) definió El Niño cuando en tres de cinco estaciones peruanas se observaban anomalías estandarizadas de TSM por sobre una desviación estándar, durante cuatro meses consecutivos¹².

A mediados de los noventa, se cambió la región que se usaba para definir la ocurrencia de El Niño y la Niña, utilizando una intermedia entre las regiones Niño 3 y 4^{13,14}. Los argumentos fueron: esta región es la que presenta la mayor correlación con la Oscilación del Sur y otras variables esenciales en la dinámica del ENOS; es la región que presenta la mayor predictibilidad; y representa mejor los impactos de ENOS en regiones remotas del planeta¹³. Hoy en día, para muchos centros internacionales, la definición operacional de la presencia de El Niño y La Niña se basa en las anomalías de TSM en la región ecuatorial (5°S-5°N) que va desde 170°W hasta 120°W (Niño 3.4). Por ejemplo, se exige que las anomalías sean superiores a 0,5°C (inferiores a -0,5°C) durante cinco

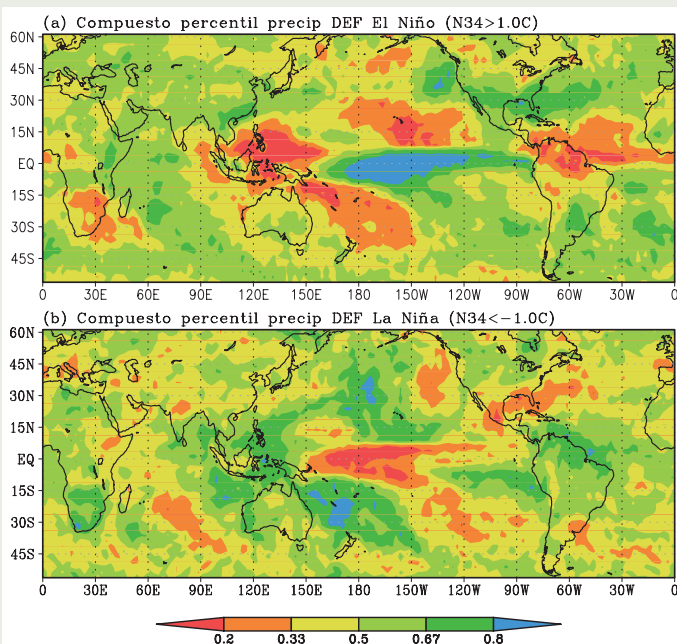


Figura 1. Percentil promedio de la precipitación de verano (diciembre-enero-febrero) bajo condiciones de El Niño (panel superior) y La Niña (panel inferior). Se define un evento El Niño (La Niña) cuando la anomalía promedio de la TSM de verano, en la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W), es superior (inferior) a 1°C (-1°C). Los veranos El Niño son: 1983, 1987, 1992, 1995, 1998, 2003, 2010 y 2016. Los veranos La Niña son: 1985, 1989, 1999, 2000, 2008 y 2011. Periodo base: 1983-2016. La base de datos de precipitación corresponde al CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP). Fuente: CMAP Precipitation data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

se observa en verano. En ambas estaciones del año se ven amplias regiones del planeta, sobre océanos y continentes, con condiciones secas y lluviosas, bajo condiciones de El Niño y La Niña. En verano (Figura 1), momento en que los eventos El Niño y La Niña presentan su mayor intensidad, se observan condiciones muy lluviosas y muy secas sobre el Pacífico Ecuatorial Central, respectivamente. En Oceanía, al este y oeste de Australia, en la región

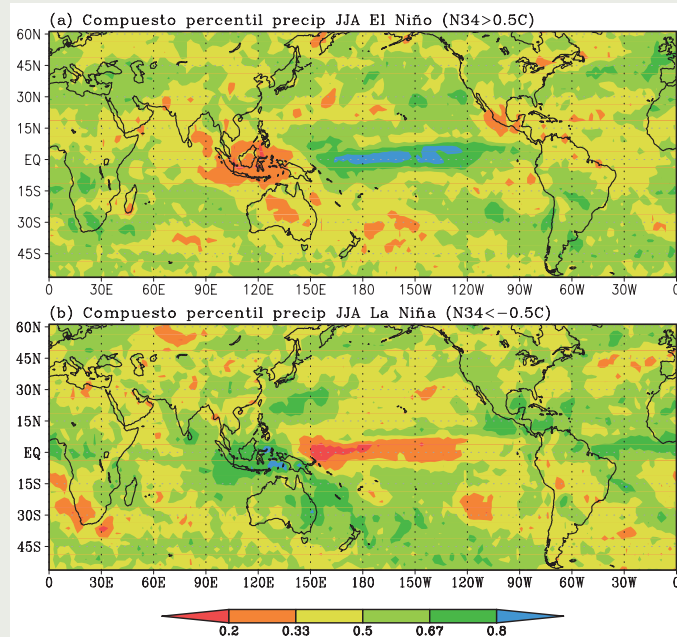


Figura 2. Como en la Figura 1, pero para el invierno (junio-julio-agosto). Se define un evento El Niño (La Niña) cuando la anomalía promedio de la TSM de verano es superior (inferior) a 1°C (-1°C). Los inviernos El Niño son: 1982, 1987, 1991, 1997, 2002, 2009, 2012 y 2015. Los inviernos La Niña son: 1984, 1985, 1988, 1989, 1998, 1999 y 2010. Periodo base: 1982-2015.

meses consecutivos para determinar la presencia de un evento El Niño (La Niña) en el Pacífico Central¹⁴.

Respecto de las alteraciones climáticas que provocan El Niño y La Niña, las Figuras 1 y 2 muestran los impactos típicos del ENOS en la precipitación de verano e invierno, respectivamente. El ENOS es representado por la anomalía de TSM en la región Niño 3.4 y el impacto como el percentil promedio de la precipitación bajo condiciones de El Niño y La Niña en el Pacífico Central. Es decir, se transforman los valores de milímetros acumulados por estación del año en el percentil correspondiente: cerca de 0 los valores muy bajos y cerca de 1 los valores muy altos (0,5 se conoce como mediana). Cabe mencionar que los percentiles corresponden a la probabilidad acumulada empírica. Se define una condición seca (muy seca) como los percentiles bajo 1/3 (0,2), que corresponde al 33% (20%) de los valores más bajos observados. Lo mismo con la condición lluviosa (muy lluviosa): se define como los percentiles sobre 2/3 (0,8), que corresponde al 33% (20%) de los valores más altos observados. Es importante indicar que para el análisis se utilizan umbrales diferentes de la anomalía de TSM para verano (1,0°C) e invierno (0,5°C), en consideración a la mayor varianza que

de Hawái, en el sector subtropical de Norteamérica, en el sector norte y suroriental de Sudamérica, al sur de África, en el sector nororiental del Pacífico Norte, al este del Atlántico norte, y en muchas otras regiones, se muestran condiciones pluviométricas secas y lluviosas, dependiendo si El Niño o La Niña están presentes. En invierno (Figura 2), cuando estos eventos suelen comenzar su evolución, las anomalías pluviométricas parecen menos extensas e intensas, aunque de todas maneras se observan condiciones secas y lluviosas en Centroamérica, Oceanía, África, Australia, Nueva Zelanda, entre otras regiones.

Predictibilidad

A mediados de los noventa, un análisis de los pronósticos de la anomalía de TSM en la región Niño 3.4 obtenidos con cinco modelos (tres dinámicos y

dos estadísticos) mostró que se habían alcanzado niveles moderados de predictibilidad, con una correlación entre observaciones y pronósticos del orden de 0,6 con seis meses de anticipación⁸. Tanto los modelos dinámicos como estadísticos superaban en ese tiempo la simple persistencia cuando la anticipación era entre seis y doce meses¹⁵. Por persistencia se entiende el uso de anomalías observadas anteriormente que se suponen se mantendrán en el futuro. Por ejemplo, para anticipar las anomalías del invierno de 2016 con seis meses de anticipación, se usa la anomalías observada en el verano de 2016. Es importante destacar el hecho que estos niveles moderados de predictibilidad eran similares tanto para los pronósticos dinámicos como estadísticos. Este comportamiento de la predictibilidad, se vio incluso en el caso del evento El Niño extraordinario de 1997-98 donde los modelos dinámicos y estadísticos presentaron los mismos problemas: no pudieron anticipar ni siquiera la mitad de los valores observados y no consiguieron anticipar con más de seis meses el inicio y término de los eventos¹⁶. Aun así, los modelos estadísticos tienen un límite de predictibilidad que depende de la escala de tiempo de los fenómenos que se quieren pronosticar. Es decir, dependen de la memoria del sistema, que en el caso de ENSO está dado por el océano y su mayor persistencia térmica. Por esto, es lógico pensar que la predictibilidad de los modelos dinámicos debería superar la predictibilidad de los modelos estadísticos.

Luego de algunas décadas de evolución de los modelos, de los sistemas de observación (especialmente gracias al programa que mantiene boyas en el Pacífico Tropical¹⁵), métodos de asimilación para mejorar las condiciones iniciales, de un mejor entendimiento de la física del ENOS y por lo tanto de mejores parametrizaciones, de una mejor capacidad de cómputo, algunos investigadores indican que se ha llegado a un máximo, donde se mantienen los niveles moderados de predictibilidad¹⁷. Este límite puede ser natural o propio del sistema dinámico, o bien, se mantienen aún los problemas de inicialización, de falta de mejores parametrizaciones de procesos claves, entre otros factores.

Sin embargo, también se plantea que la predictibilidad del ENOS presenta cambios decadales¹⁵. Un análisis detallado de los pronósticos en la primera década del siglo XXI muestra que los modelos dinámicos han superado a su contraparte estadística, especialmente a tiempo de anticipación o "lead". Se mantiene la tendencia a prolongar la duración de los eventos El

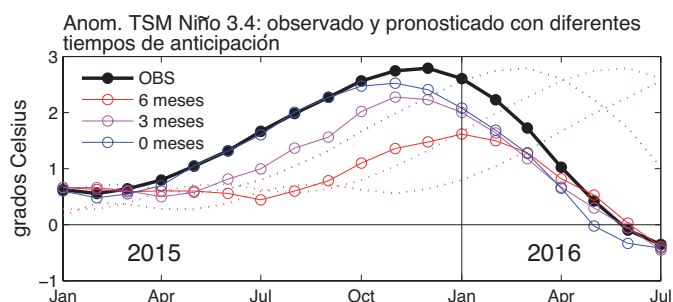


Figura 3. Evolución de la anomalía trimestral, observada y pronosticada, de la TSM en la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) entre el verano de 2015 (diciembre 2014, enero y febrero 2015) hasta el invierno de 2016 (junio, julio y agosto de 2016). En el eje horizontal de la figura se indica el mes central del trimestre. La anomalía de agosto de 2016 se estimó como la misma anomalía de julio de 2016. Los pronósticos corresponden al promedio de 16 modelos dinámicos y nueve modelos estadísticos. Se muestran tres desfases: con cero meses de anticipación (línea y círculo azul) y con seis meses de anticipación (línea y círculo rojo). Como referencia se muestran los pronósticos por persistencia a cero (línea punteada azul), tres (línea punteada azul) y seis (línea punteada azul) meses de desfase. Fuente de los pronósticos: International Research Institute for Climate and Society (IRI), <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>.

Niño y La Niña, así como a pronosticar inicios más suaves y lentos que los que ocurren en realidad. Es importante destacar que la razón señal-ruido es un índice de la predictibilidad de un sistema: si disminuye la señal y se mantiene el ruido, la predictibilidad disminuye. Se argumenta que durante el siglo XXI, la señal del ENSO ha disminuido, razón por la cual

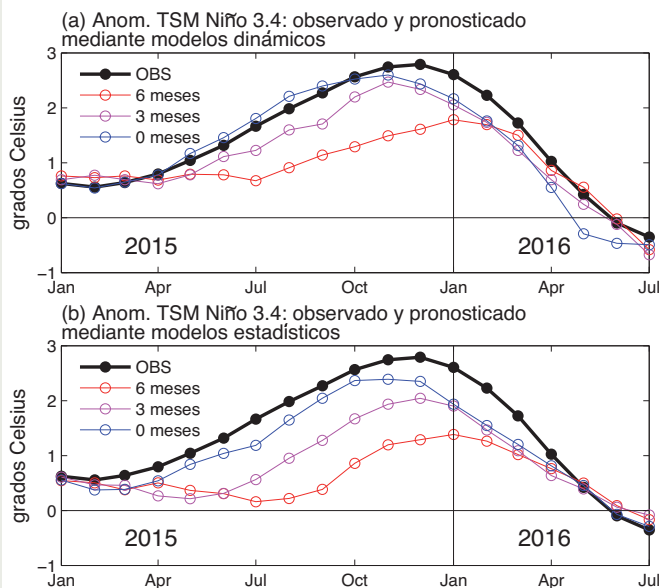


Figura 4. Como en la Figura 3, pero para el promedio de los 16 modelos dinámicos (panel superior) y para el promedio de los nueve modelos estadísticos (panel inferior).

también lo ha hecho su predictibilidad (ver Fig. 15 en la referencia 18).

El evento El Niño 2015-16

Una manera simple y didáctica de ver la predictibilidad del ENOS es analizar lo que ocurrió con el pasado evento El Niño 2015-16. Se utilizan 16 modelos dinámicos y nueve modelos estadísticos, que se presentan operacionalmente en el sitio web del International Research Institute for Climate and Society (IRI). En la Figura 3 se muestra la anomalía en la región Niño 3.4 desde el verano de 2015 al invierno de 2016: observados y pronosticados a cero, tres y seis meses de anticipación. Se muestran los promedios de los 25 modelos. Para comparar, también se muestran los pronósticos por persistencia. Se puede notar que, con seis meses de anticipación, el inicio del evento se pronosticaba para septiembre de 2015, con un máximo valor cerca de 1,5°C en diciembre de 2015, y el regreso a condiciones normales en mayo de 2016. Con tres meses el pronóstico es bastante mejor, previendo el inicio del evento en junio de 2015, con un máximo de 2,4°C en noviembre y su término en mayo de 2016. Sin meses de anticipación, es decir, pronosticando para los próximos tres meses inmediatos, el inicio es perfecto, con un máximo de 2,6°C en noviembre a solo un mes del máximo observado en diciembre de 2,8°C, anticipando la caída del evento en solo un mes. La persistencia estuvo, en todo momento, muy lejos de la evolución pronosticada del promedio de los modelos dinámicos y estadísticos. Luego, se notan mejorías respecto de lo que ya se ha comentado anteriormente. El inicio e intensidad sí se

pudo prever, aunque con pocos meses de antelación. Sin anticipación, el pronóstico fue realmente exacto, aunque tiene poca utilidad práctica. Al menos para este evento, el término parece haber sido anticipado incluso con seis meses.

Respecto de la calidad de los modelos dinámicos en comparación con los estadísticos, en la Figura 4 se muestran por separado. Se puede notar que, para el caso del evento El Niño 2015-16, los errores (diferencia entre lo observado y pronosticado) son efectivamente menores en los modelos dinámicos que en los estadísticos. En las Tablas 1 a 4 se muestran distintos parámetros de comparación: el trimestre cuando se supera 1,0°C de anomalía en la región Niño 3.4 (Tabla 1), el trimestre cuando se alcanza el máximo (Tabla 2), el valor de la anomalía máxima (Tabla 3) y el trimestre cuando se disminuye por debajo de 1,0°C (Tabla 4). Se observa, para el evento analizado, que el retraso (o anticipo) del máximo o de la declinación se anticipa bien en ambos tipos de modelos, desde seis a cero meses de anticipación. Sin embargo, el inicio de condiciones cálidas por sobre 1°C siempre es mejor anticipado por los modelos dinámicos en dos meses. Lo mismo para la magnitud del evento. Siempre los modelos estadísticos están por debajo de los modelos dinámicos en algunas décimas de grado.

Por último, se destaca claramente el promedio de los modelos dinámicos con tres meses de anticipación. Una buena planificación depende de la confianza que hay en los pronósticos y, además, de la cantidad de meses con los que se cuenta para realizar actividades de mitigación de los efectos negativos.

Tabla 1. Trimestre en que la anomalía de TSM (ATSM) en la región Niño 3.4 aumenta por sobre 1°C. Se indican los trimestres con las letras iniciales de cada mes. Por ejemplo, AMJ corresponde al trimestre abril-mayo-junio. La diferencia positiva corresponde al retraso del momento en que aumenta la ATSM.

Trimestre Observado	Promedio modelos dinámicos		Promedio modelos estadísticos		Anticipación
	trimestre	diferencia	trimestre	diferencia	
AMJ 2015	ASO 2015	4	OND 2015	6	6 meses
AMJ 2015	MJJ 2015	1	JJA 2015	3	3 meses
AMJ 2015	AMJ 2015	0	MJJ 2015	1	0 meses

Tabla 2. Trimestre en que la anomalía de TSM (ATSM) en la región Niño 3.4 alcanza el máximo. Se indican los trimestres con las letras iniciales de cada mes. Por ejemplo, AMJ corresponde al trimestre abril-mayo-junio. La diferencia positiva (negativa) corresponde al retraso (anticipo) del momento en que se alcanza el máximo.

Trimestre Observado	Promedio modelos dinámicos		Promedio modelos estadísticos		Anticipación
	trimestre	diferencia	trimestre	diferencia	
NDE 2015-16	DEF 2015-16	1	DEF 2015-16	1	6 meses
NDE 2015-16	OND 2015	-1	NDE 2015-16	0	3 meses
NDE 2015-16	OND 2015	-1	OND 2015	-1	0 meses

Tabla 3. Anomalía de TSM (ATSM) en la región Niño 3.4 cuando se alcanza el máximo. La diferencia negativa indica una subestimación del máximo.

Trimestre Observado	Promedio modelos dinámicos		Promedio modelos estadísticos		Anticipación
	anomalía	diferencia	anomalía	diferencia	
2,8°C	1,8°C	-1,0°C	1,4°C	-1,4°C	6 meses
2,8°C	2,5°C	0,3°C	2,0°C	-0,8°C	3 meses
2,8°C	2,6°C	0,2°C	2,4°C	-0,4°C	0 meses

Tabla 4. Trimestre en que la anomalía de TSM (ATSM) en la región Niño 3.4 disminuye por debajo de 1°C. Se indican los trimestres con las letras iniciales de cada mes. Por ejemplo, AMJ corresponde al trimestre abril-mayo-junio. La diferencia negativa corresponde al adelanto del momento en que disminuye la ATSM.

Trimestre Observado	Promedio modelos dinámicos		Promedio modelos estadísticos		Anticipación
	trimestre	diferencia	anomalía	diferencia	
AMJ 2016	MAM 2016	-1	MAM 2016	-1	6 meses
AMJ 2016	MAM 2016	-1	MAM 2016	-1	3 meses
AMJ 2016	MAM 2016	-1	MAM 2016	-1	0 meses

Referencias

1. Van den Dool, H., 2007: *Empirical Methods in Short-term Climate Prediction*, Oxford University Press, 215 pp.
2. Burroughs, W.J., 2003: *Weather cycles: Real or imaginary?*, Cambridge University Press, second edition, 317 pp.
3. Goddard, L., S.J. Mason, S.E. Zebiak, C.F. Ropelewski, R. Basher, and M.A. Cane, 2001: Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions, *International Journal of Climatology*, 21: 1111–1152.
4. Walker, G.T., 1924: *World Weather IX, Memorandum of the Indian Meteorological Department*, 24, 275–332.
5. Walker, G.T., and E.W. Bliss, 1932: *World weather V. Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4:53–84.
6. Ropelewski, C.F., and M.S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño–Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, 115, 1606–1626.
7. Glantz, M.H., R.W. Katz, and N. Nicholls (Eds.), 1991: *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*, Cambridge University Press, New York, 535 pp.
8. Barnston, A. G., et al., 1994: Long-lead seasonal forecasts—Where do we stand?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75, 2097–2114.
9. Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97, 163–72.

10. Sarachik, E.S., and M.A. Cane, 2010: *The El Niño–Southern Oscillation Phenomenon*, Cambridge University Press, 384 pp.
11. Barnett, T. P., N. Graham, M. Cane, S. Zebiak, S. Dolan, J. O'Brien, and D. Legler, 1988: On the prediction of the El Niño of 1986–1987, *Science*, 241,192–196.
12. SCOR, 1983: *Prediction of El Niño. Proc. No. 19, Paris, France, Scientific Committee for Ocean Research Working Group 55*, 47–51.
13. Barnston, A.G., M. Chelliah, and S.B. Goldenberg, 1997: Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific: Research note, *Atmosphere - Ocean*, 35, 367–383, doi:10.1080/07055900.1997.9649597.
14. Trenberth, K.E., 1997: The definition of El Niño, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2771–2777.
15. Latif, M., et al., 1998: A review of the predictability and prediction of ENSO, *Journal of Geophysical Research*, 103, 14375–14393.
16. Landsea, C.W., and J.A. Knaff, 2000: How much skill was there in forecasting the very strong 1997/98 El Niño?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 2107–2119.
17. Chen, D., and M.A. Cane, 2008: El Niño prediction and predictability, *Journal of Computational Physics*, 227.
18. Barnston, A.G., M.K. Trippett, M.L. L'Heureux, S. Li, and D.G. DeWitt, 2012: Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002–11: Is our capability increasing?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 631–651.

Modelado teórico-matemático de El Niño extraordinario

Ken Takahashi, Ph.D.¹
¹Instituto Geofísico del Perú

Introducción

Uno de los enfoques metodológicos más provechosos en la ciencia es el llamado “reduccionismo”, mediante el cual se intenta aislar el fenómeno que se estudia lo más posible de factores “externos” para poder establecer las reglas de su comportamiento en forma general. Esto nos ha llevado a grandes avances hacia establecer las leyes básicas de la física, desde las escalas más pequeñas (partículas elementales) hasta las más grandes (cosmología). Sin embargo, la aplicación de este enfoque en las ciencias del clima está limitada por una serie de consideraciones. Primero, se sabe *a priori* que las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento de fluidos como el aire y el agua son “no-lineales”, por lo que existe interacción entre las diferentes escalas espacio-temporales, como la que hay entre la turbulencia cerca del suelo y el cambio climático global, así que no es posible aislar en forma absoluta un fenómeno como El Niño de las otras variaciones en el clima. Segundo, los impactos de El Niño dependen de detalles geográficos y temporales, por lo que una teoría simplificada que los ignore tendrá menor utilidad práctica.

Sin embargo, las teorías simplificadas de fenómenos climáticos son esenciales, ya que proporcionan marcos conceptuales o paradigmas que guían a los científicos tanto en la evaluación de nuevas observaciones como en el avance de nuevas teorías. En el caso de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), el modelo teórico-matemático más sencillo es el llamado “modelo de oscilación carga-descarga” (Jin, 1997a; Burgers et al., 2005; ver Dewitte et al., 2014), que considera solo dos variables: un índice T de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial Oriental-Central (por ej. región Niño 3) y un índice h del contenido de calor oceánico en toda la banda ecuatorial en el Pacífico. Si bien este modelo se puede deducir de un modelo más complejo mediante simplificaciones (Jin, 1997b), evidencia observacional de su validez es la relación desfasada que se observa entre T y h (Figura 1a), de manera que valores positivos/negativos de h tienden a preceder en unos meses a valores positivos/negativos de T , lo cual ha llevado a proponer que h puede ser usado para predecir T (Meinen y McPhaden, 2000).

El modelo teórico carga-descarga es matemáticamente similar al de un péndulo con disipación (donde T sería el ángulo y h la velocidad angular) y se puede expresar como:

$$\frac{dT}{dt} = aT + bh + F$$

$$\frac{dh}{dt} = cT + dh + G$$

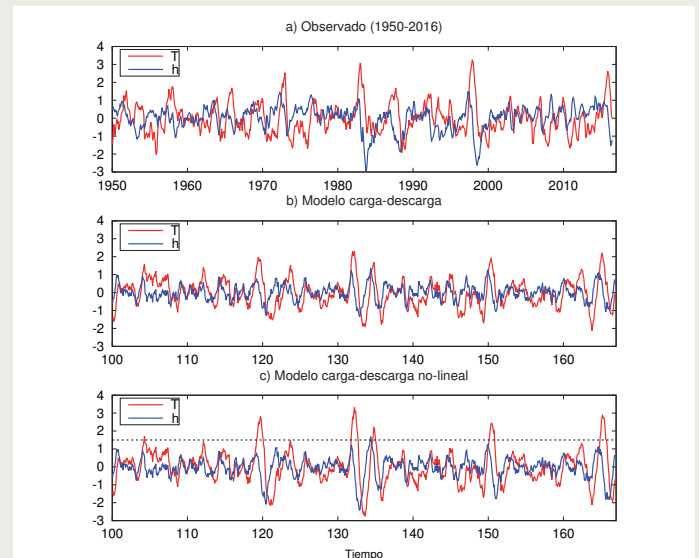


Figura 1. Series del índice de temperatura superficial del mar (T ; °C; rojo) y de contenido de calor (h ; dam; azul) según a) datos observacionales (periodo 1950-2016) y simulaciones con b) el modelo carga-descarga y c) la versión no-lineal de este. Para el modelo, se muestra el periodo de los años 100 a 167 de la simulación usando el mismo forzante estocástico, el cual presenta algunas similitudes con el observado pero que no pretende ser igual a este. En c), la línea punteada indica la temperatura crítica T_c .

donde los coeficientes a , b , c , y d son constante reales y t es el tiempo. Los coeficientes se pueden estimar haciendo aproximaciones partiendo de modelos más complejos (Jin, 1997b) o ajustándolos empíricamente usando observaciones de T y h (Burgers et al., 2005). Los coeficientes a y d representan los procesos de disipación y son suficientes para que el sistema tienda hacia el estado de equilibrio $T=0$ y $h=0$, es decir que no habría variabilidad asociada a ENOS. Por esto, se añaden los términos F y G , que son forzantes externos (factores exógenos) que normalmente son considerados impredecibles por estar asociados a fenómenos independientes de ENOS (por ej. sistemas meteorológicos de latitudes medias, oscilaciones Madden-Julian en los trópicos) y son incluidos como series de números aleatorios (forzantes estocásticos). Si bien este forzante incluye todas las frecuencias (interestacional hasta multidecadal), el modelo responde preferencialmente con periodos de oscilación de poco más de tres años (Burgers et al., 2005), lo cual corresponde a la frecuencia angular ω dada por $\omega^2 = (ad-bc) - (a+d)^2/4$. Como ejemplo, este modelo forzado por ruido blanco (igual amplitud en todas las frecuencias) muestra una variabilidad bastante similar a la observada (Figura 1b), incluyendo la irregularidad registrada en la variabilidad, que en el modelo es generada por el “ruido” en el forzante.

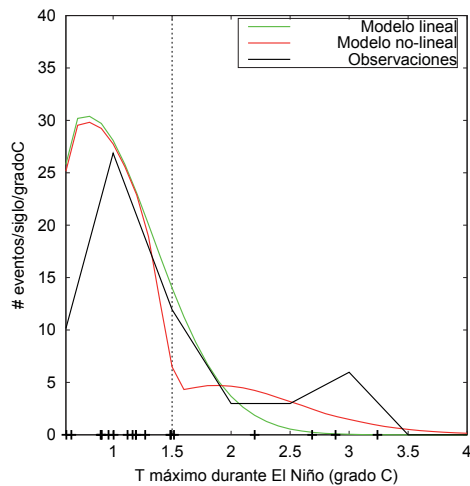


Figura 2. Histogramas de los valores máximos alcanzados por T durante El Niño (con la restricción de que $T > 0.5^\circ\text{C}$) basados en simulaciones de dos millones de años con el modelo carga-descarga (azul) y la versión no-lineal (rojo), así como de las observaciones para el periodo 1950-2016 (negro, las observaciones individuales se muestran con cruces).

Algo que el modelo carga-descarga no se espera que pueda representar es la separación del grupo de los eventos El Niño extremos del conjunto de los demás El Niño, tal como se propuso basado en datos observacionales y un modelo climático (Takahashi et al., 2011; Takahashi y Dewitte, 2015). Con el nuevo dato correspondiente a El Niño 2015-2016, se tiene un evento adicional del tipo extremo debido a su intenso calentamiento en la región Niño 3, aun cuando el calentamiento esperado en la costa sudamericana (por ej. región Niño 1+2) fuera bastante inferior al de los anteriores (L'Heureux et al., 2016). Esto se muestra en la Figura 2 (línea negra), que presenta histogramas de los valores máximos de T durante El Niño y verifica la distribución bimodal (con dos picos) en los datos observacionales, donde el segundo pico corresponde a los años 1982-1983, 1997-1998 y 2015-2016, con valores sobre 2.6°C , mientras que la mayoría de los demás eventos El Niño tienen valores por debajo de 1.5°C . La excepción es El Niño 1972-1973, que presentó un valor intermedio de 2.2°C . En la misma figura se muestra el histograma basado en el modelo carga-descarga (línea azul), el cual claramente es unimodal, es decir, que no muestra una separación clara entre El Niño extremo y los demás.

Una posible explicación para la existencia de un régimen aparte para El Niño extremo es que cuando la temperatura superficial en el Pacífico Ecuatorial Oriental es suficientemente alta, se puede activar la convección profunda, con fuertes precipitaciones y vientos del oeste más intensos, lo cual implica una amplificación del proceso de retroalimentación positiva de Bjerknes que permite un crecimiento acelerado de El Niño (Takahashi y Dewitte, 2015). En un trabajo en desarrollo (Takahashi et al., 2016) se explora cómo este mecanismo puede generar los dos regímenes de El Niño en el modelo carga-descarga. Para esto, modificamos ligeramente el modelo de manera que

el coeficiente a tome un valor levemente mayor si T está por encima de una temperatura crítica, que tomamos como $T_c = 1.5^\circ\text{C}$, la cual corresponde al valor necesario para llegar desde la temperatura promedio en la región Niño 3 hasta el valor umbral de 27.5°C para la activación de la convección (Takahashi y Dewitte, 2015).

De esta manera, los eventos El Niño que sobrepasaban $T = 1.5^\circ\text{C}$ en el modelo original (Figura 1b), en la versión no-lineal alcanzan mayores temperaturas (Figura 1c). Además, se encuentra que, si bien el contenido de calor h antes de estos eventos es el mismo en ambos modelos, no ocurre así después de El Niño. Esto porque con un mayor calentamiento superficial se registra una mayor descarga de calor (Figura 1b, c), como en las observaciones (Figura 1a; Vecchi y Takahashi, 2016), que, en el modelo, luego genera un fuerte enfriamiento superficial, o sea La Niña, aunque esto último no es tan evidente en las observaciones.

El modelo no-lineal, además, es capaz de reproducir una distribución bimodal de los valores de T máximos durante El Niño (línea roja en la Figura 2), aunque con el pico correspondiente a El Niño extremo centrado en T menores que lo observado. Sin embargo, el análisis sugiere que esto puede ser explicado por lo corto del registro observacional, ya que es relativamente fácil encontrar periodos de 67 años dentro de la simulación de dos millones de años, con una distribución similar a la mostrada para las observaciones.

Este modelo carga-descarga no-lineal es muy sencillo, introduciendo solo dos parámetros adicionales al modelo original, por lo que es susceptible a ser analizado y entendido a gran profundidad, proporcionándonos una mejora en nuestro paradigma que nos permitirá interpretar mejor los datos observacionales y resultados de modelos climáticos más complejos.

Referencias

- Burgers, G., F.-F. Jin, G. J. van Oldenborgh, 2005: The simplest ENSO recharge oscillator, *Geophysical Research Letters*, 32, L13706.
- 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", 1, 8, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.
- Jin, F.-F, 1997a: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 54, 811-829.
- Jin, F.-F, 1997b: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part II: A stripped-down coupled model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 54, 830-847.
- L'Heureux, M., K. Takahashi, A. B. Watkins, A. G. Barnston, E. J. Becker, T. E. Di Liberto, F. Gamble, J. Gottschalck, M. S. Halpert, B. Huang, K. Mosquera-Vásquez, A. T. Wittenberg, 2016: Observing and predicting the 2015-16 El Niño, en revisión en el *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Meinen, C. S., M. J. McPhaden, 2000: Observations of warm water volume changes in the equatorial Pacific and their relationship to El Niño and La Niña, *Journal of Climate*, 13, 3551-3559.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical ENSO and El Niño Modoki, *Geophysical Research Letters*, 38, L10704, doi:10.1029/2011GL047364.
- Takahashi, K., C. Karamperidou, B. Dewitte, 2016: A simple theoretical model of strong and moderate El Niño regimes, en preparación para *Climate Dynamics*.
- Takahashi, K., y B. Dewitte, 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-7

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para el Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

Resumen

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), las condiciones climáticas de la costa peruana fueron cálidas débiles (0.43°C) para el mes de junio. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp), 1 y 2, indican que para los meses de julio y agosto las condiciones serían neutras, lo que estaría indicando que, según el criterio del ENFEN (2012), el evento El Niño habría durado hasta junio. El pronóstico de la temperatura superficial del mar (TSM) de los modelos numéricos internacionales para la región del Pacífico Oriental, con condiciones iniciales del mes de julio, indica en promedio condiciones neutras para los meses de agosto y setiembre. Estos mismos resultados numéricos predicen que para el Pacífico Central las condiciones serían frías débiles para esos meses.

El pulso de viento del este que se observó en junio generó una onda Kelvin fría que estaría arribando a nuestras costas en el transcurso del mes de agosto, sin embargo llegaría debilitada. En la segunda quincena de julio se observó un pulso de viento del este, localizado entre 160°E y 140°W. Según el modelo lineal y, al parecer, en los datos de ARGO, se habría formado una onda Kelvin fría que llegaría al extremo oriental en el mes de setiembre. Por el momento no se observa que sea muy intensa.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de TSM promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de julio de 2016 del producto ERSST v3b generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EE.UU.), se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN, 2012) hasta el mes de junio de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2016	Marzo	1.07	Cálida Moderada
2016	Abril	0.77	Cálida Débil
2016	Mayo	0.54	Cálida Débil
2016	Junio	0.43	Cálida Débil

Tabla 1. Valores recientes del ICEN.
(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

Según el valor del ICEN para el mes de junio, la señal de El Niño costero 2015/2016 continúa su disipación.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el Índice Oceánico Niño (ONI por su sigla en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>) actualizado por la NOAA al mes de junio 2016 es de +0.71°C, correspondiente a condiciones cálidas débiles¹, decreciendo desde el máximo alcanzado en diciembre 2015 de +2.30°C (cálida muy fuerte). Aplicando para esta región un procedimiento similar al utilizado para establecer la magnitud de El Niño y La Niña costeros (ENFEN, 2012), encontramos que El Niño en el Pacífico Central 2015-2016 tuvo una magnitud muy fuerte, excediendo el umbral correspondiente entre octubre 2015 y enero 2016.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En el océano Pacífico Ecuatorial las principales variables climáticas mostraron, en promedio, valores alrededor de su normal. La convección en el Pacífico Central y Central-Oriental se encontró menos activa que lo normal, sugiriendo que podría estar iniciándose el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías, lo cual podría ayudar al desarrollo de un evento La Niña en el Pacífico Central. La anomalía de la TSM (ATSM) en la región Niño 3.4, en promedio (IR, MW, OSTIA), continúa con una tendencia negativa y en la actualidad se ubica dentro de su rango normal y ligeramente negativo, muy similar a lo que ocurrió en el invierno de 1983 y superior a 1998 (se nota que los datos IR mostraron valores más negativos que los otros dos que sí incluyen mediciones en microondas, por lo que probablemente es erróneo). Por otro lado, en la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM se mantuvo positiva pero próxima a sus condiciones normales (entre 0°C y +1°C). Las anomalías mensuales de viento del oeste en el Pacífico Central (160°E-160°W; 5°S-5°N) continuaron siendo ligeramente negativas. La termoclina ecuatorial presentó una inclinación este-oeste ligeramente mayor que lo normal, mientras que el contenido de calor oceánico ecuatorial se mantuvo anormalmente bajo. Por otro lado, la termoclina en el Pacífico Oriental, en los puntos 110°W y 95°W, continuó mostrando anomalías negativas asociadas

¹Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes y muy fuertes usando el ONI son ± 0.50 , ± 1.00 , ± 1.50 y ± 2.00 , respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-7

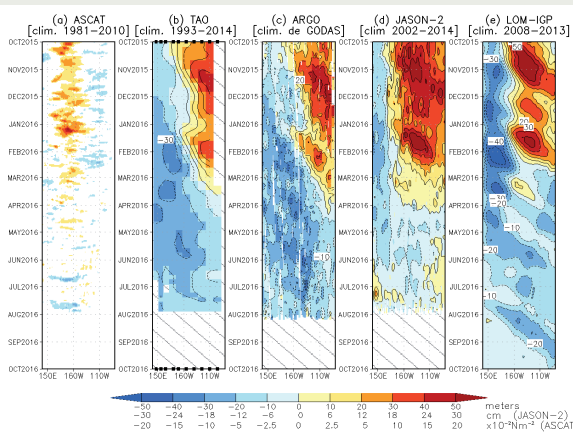


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau_x=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s (Elaboración: IGP).

a la descarga de calor pero en los últimos días de julio se observaron condiciones casi normales en 95°W. El pulso de viento del este de la segunda quincena de junio generó una onda Kelvin fría que estaría llegando a nuestras costas en el transcurso de agosto, aunque al parecer la onda está debilitada (Figura 1). Esto posiblemente se debe a que la primera quincena de julio presentó ligeras anomalías de viento del oeste en el Pacífico Oriental, aparentemente asociadas a la oscilación de Madden-Julian.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

La onda Kelvin fría cuyo arribo se esperaba en agosto se ha visto debilitada y probablemente no afectará la costa significativamente.

Por otro lado, en la segunda quincena de julio se observó un pulso de viento del este, localizado entre 160°E y 140°W. Según el modelo lineal y, al parecer, en los datos de ARGO (Figura 1c), se habría formado una onda Kelvin fría que llegaría al extremo oriental en el mes de setiembre. Por el momento no se observa muy intensa. Si persisten los vientos del oeste en el Pacífico Oriental y/o la termoclina continua elevada en el extremo oriental, es probable que no tenga mucho impacto.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Los pronósticos de los ocho modelos climáticos disponibles, siete de NMME (CFSv2, NASA GEOS5,

CCSM4, FLOR, CM2.1 CMC1 y CMC2) y el de ECMWF, inicializados en julio (excepto el CFSv2 actualizado en agosto) indican que, para los meses de agosto y setiembre, las anomalías de TSM en el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) serían neutras (Figura 2). En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en junio. Para lo que resta del año 2016 y para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), todos los modelos predicen condiciones neutras (Figura 2). Es decir, 100% de probabilidad de condiciones neutras en la costa en el verano 2016-2017, según los modelos.

Por otro lado, en el Pacífico Central (Niño 3.4), considerando los siete modelos de NMME y otros cuatro (ECMWF, MRI, UKMO, y POAMA), los pronósticos indican que las condiciones en promedio para los meses de agosto y setiembre serían frías débiles. Para lo que resta del 2016, un modelo predice La Niña moderada (UKMO), siete predicen La Niña débil (CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, FLOR, CCSM4, MRI) y tres predicen neutra (NASA, ECMWF, POAMA). Si bien no se cuenta con los pronósticos hasta marzo, para el verano (diciembre-marzo) se estima aproximadamente (extrapolando la tendencia de los diferentes modelos) que cuatro modelos indican condiciones neutras, tres entre neutras y La Niña débil, y uno La Niña débil. Es decir, probabilidades aproximadas de 70% de condiciones neutras y 30% de La Niña débil en el Pacífico Central según los modelos.

Un análisis de las condiciones observadas históricamente indica que en el verano no se ha presentado La Niña costera desde el año 1973, lo cual probablemente refleja variabilidad en escala multi-decadal y la tendencia al calentamiento. Por otro lado, en el Pacífico Central la ocurrencia de El Niño y La Niña es más balanceada en el tiempo. Utilizando el criterio para estimar la magnitud de El Niño y La Niña en el verano de que al menos tres de los meses deben corresponder a condiciones cálidas o frías y que la magnitud dentro de ese periodo corresponde a la mayor superada en tres meses (ENFEN, 2012; 2015), tanto en la costa como en el Pacífico Central. usando el ICEN y ONI, respectivamente, con los umbrales correspondientes, se encuentra que para el periodo 1950-2016, las condiciones neutras han sido bastante más probables que El Niño y La Niña (79% en la costa, 45% en el Pacífico Central). Esto parece ser un resultado del criterio, ya que es más difícil satisfacerlo para El Niño y La Niña que para neutra. Por otro lado, las probabilidades de El Niño y La Niña son similares en ambas regiones. Todo esto debe ser

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-7

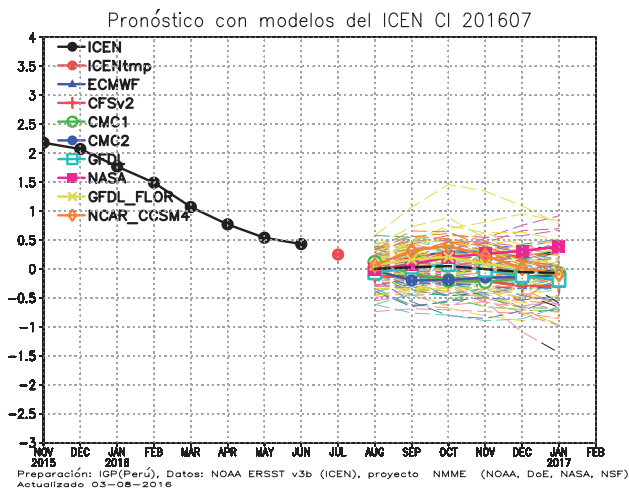


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENTmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de julio de 2016. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de julio de 2016. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

considerado en el momento de la realización de los pronósticos probabilísticos del ENFEN.

Conclusiones

1. El ICEN para junio de 2016 fue de 0.43 (cálida débil). Asimismo, el ICENTmp actualizado para julio y agosto es 0.25 y 0.09, respectivamente, siendo condiciones neutras.

2. Durante el mes de junio, la ATSM en la región Niño 1+2 osciló entre 0 y +1°C.

3. La ATSM en la región Niño 3.4, durante este mes, ha mostrado valores entre normales y ligeramente negativos (aproximadamente -0.3°C; OISST presentó valores más fríos que aparentemente no fueron correctos).

4. El pulso de viento del este de junio generó una onda Kelvin fría que estaría llegando a nuestra costa en el transcurso de agosto, aunque parece debilitada.

5. En la segunda quincena de julio se observó un pulso de viento del este, localizado entre 160°E y 140°W. Según el modelo lineal y, al parecer, en los datos de ARGO, se habría formado una onda Kelvin fría que llegaría al extremo oriental en el mes de setiembre. Por el momento no se observa que sea muy intensa. Si la termoclina continúa muy elevada en el extremo

oriental, es probable que no tenga mucho impacto.

6. La convección en el Pacífico Central se encontró menos activa que lo normal, sugiriendo que podría estar iniciándose el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías, lo cual podría ayudar al desarrollo de un evento La Niña en el Pacífico Central.

7. El contenido de calor oceánico ecuatorial se mantiene anómalamente bajo, mientras que la termoclina ecuatorial está ligeramente más inclinada que lo normal.

8. Para el **Pacífico Oriental** (Niño 1+2), los ocho modelos inicializados en julio (salvo el CFSv2 actualizado en agosto) indican que el mes de setiembre presentaría condiciones neutras. En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en junio. Para lo que resta del 2016 y para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), todos los modelos predicen condiciones neutras.

9. Para el **Pacífico Central** (Niño 3.4), todos los modelos que han sido considerados, y que fueron inicializados en julio, indican que El Niño continuaría su declinación y presentaría condiciones neutras para setiembre. En lo que resta del 2016, un modelo predice La Niña moderada, siete predicen La Niña débil y tres predicen neutro (9%, 64%, 27%). Extrapolando, para el verano cinco modelos indican condiciones neutras, tres entre neutro y La Niña débil, y tres predicen La Niña débil (o sea, aproximadamente 59% neutro y 41% La Niña débil).

10. Debido a que el procedimiento para establecer la presencia de El Niño y La Niña requiere tres meses consecutivos de condiciones cálidas o frías, respectivamente, la probabilidad de que esto se cumpla dentro del periodo diciembre-marzo (aproximadamente verano) es relativamente baja. Así, históricamente, el 79% (45%) de tales periodos correspondieron a condiciones neutras en la costa (el Pacífico Central), mientras que para El Niño y La Niña los porcentajes son de 9% (29%) y 12% (26%), respectivamente. Se nota que desde 1973 no se ha presentado La Niña costera entre diciembre y marzo.

Referencias

ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica ENFEN.
ENFEN, 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016, Nota Técnica ENFEN 02-2015.

Comunicado Oficial ENFEN

COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO (ENFEN)



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 12-2016

Se prevén condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta fin de año

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene al estado de Alerta "No activo"¹, debido a que en la actualidad la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la costa del Perú presentan, en promedio, condiciones normales. El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos internacionales y de las observaciones, considera más probable que hasta fin de año se continúen presentando condiciones neutras frente a la costa del Perú, y que se desarrollen condiciones de La Niña débil en la región del Pacífico Ecuatorial Central.

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de julio del 2016 y sus perspectivas. La anomalía del contenido de calor en el Océano Pacífico Ecuatorial se ha mantenido negativa. En la región del Pacífico Central (Niño 3.4)², la anomalía de la TSM continuó en una tendencia negativa (Figura 1a), con una anomalía mensual de $-0,5^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, la actividad convectiva, la subsidencia³ y el viento zonal en el Pacífico Central, al momento, muestran un posible acoplamiento favorable al desarrollo de un mayor enfriamiento.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2), la TSM fluctuó ligeramente por encima de lo normal (Figura 1b). El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para junio fue $+0,43^{\circ}\text{C}$ (Condición Cálida Débil) y el estimado para julio (ICENTmp) es $+0,25^{\circ}\text{C}$ (Condición Neutral).

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se presentó debilitado respecto al mes anterior, con una anomalía negativa en su núcleo de -3hPa . Asociados a esta condición los vientos costeros mostraron un comportamiento de débil a normal a lo largo del litoral peruano.

Las temperaturas extremas del aire en la costa norte y central se presentaron con anomalías de $+1,74^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima y $+0,2^{\circ}\text{C}$ para la temperatura mínima. En la costa sur, las anomalías fueron $+0,96^{\circ}\text{C}$ y $+1,21^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

La anomalía promedio de la TSM en el litoral desde Paita hasta Ilo presentó un valor de $+0,5^{\circ}\text{C}$, a excepción de Talara que tuvo una anomalía de $-1,4^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). Por otro lado, entre Chicama y Callao, se sigue manteniendo la presencia de aguas oceánicas de alta salinidad fuera de las 10 mn.

La cuarta onda Kelvin fría generada en el mes de junio cuya llegada se esperaba en el mes de agosto ha sido atenuada debido a un debilitamiento de las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Oriental.

En la Estación Fija Paita, localizada a 7 mn de la costa, la columna de agua mantuvo condiciones neutras de temperatura hasta los 100 m de profundidad. Dentro de las 100 mn de la costa, frente a Paita, se observaron también condiciones normales. Frente a Chicama, se observaron anomalías positivas de temperatura de hasta $+3^{\circ}\text{C}$ fuera de las 50 mn y hasta los 100 m de profundidad, asociadas a la presencia de aguas oceánicas, mientras que cerca de la costa se presentaron condiciones neutras.

Los caudales de los ríos de la costa mostraron características propias del período de estiaje, con hidrogramas de tipo descendente y en su mayoría con caudales promedios diarios por debajo de lo normal; a diferencia de los ríos regulados Chira, Rímac y Majes que presentaron caudales por encima de lo normal. Los reservorios en la costa norte y sur vienen operando en promedio al 72% y 59% de su capacidad hidráulica útil, respectivamente.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton que es base de la cadena alimenticia en el mar, presentó condiciones normales para el mes de julio a lo largo de toda la franja costera. La anchoveta se presentó dentro de las 50 mn desde Talara hasta San Juan de Marcona, con sus máximas concentraciones entre Huacho y Callao. La

¹Estado de Alerta "No activo": Corresponde a condiciones neutras o cuando el Comité ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar

²Región Niño 3.4: $5^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$

³Subsidencia es el descenso del aire frío hacia la superficie terrestre



temporada de pesca industrial de anchoveta y anchoveta blanca (samasa) en la Región Norte – Centro culminó con aproximadamente el 49% de la cuota establecida de 1,8 millones de toneladas. Los indicadores reproductivos de la anchoveta mostraron el inicio del periodo de desove principal de invierno - primavera.

PERSPECTIVAS

Para los próximos dos meses, se espera que la TSM en la región Niño 1+2, continúe descendiendo debido a la estacionalidad. Se prevé la formación de una nueva onda Kelvin fría que arribaría a la costa de Sudamérica entre fines de agosto e inicio de setiembre. Sin embargo, si ella se debilita, tal como ocurrió con las ondas frías anteriores, las temperaturas podrían mantenerse en un rango normal a ligeramente frías.

Asimismo, se espera que estas condiciones estén acompañadas por la continuación de la cobertura nubosa y lloviznas a lo largo de la costa hasta fines de invierno.

Para los siguientes meses, la mayoría de los modelos globales pronostican el desarrollo de condiciones La Niña débil para el Pacífico Central (región Niño 3.4) hasta fin de año, tendiendo a declinar a condiciones neutras durante el verano 2016-2017. En cambio, para la región Oriental (Niño 1+2), todos los modelos globales pronostican condiciones neutras hasta el verano inclusive.

El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos internacionales y de las observaciones, considera más probable que hasta fin de año se presenten condiciones neutras frente a la costa del Perú, y condiciones La Niña débil en la región del Pacífico Ecuatorial Central.

Dado que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, que coincide con el verano, el Comité ENFEN considera importante proporcionar una estimación de las probabilidades de ocurrencia de El Niño y La Niña (Tablas N° 1 y 2) para dicho periodo, a pesar de la alta incertidumbre que esto implica. Con estas consideraciones, el Comité Multisectorial ENFEN estima que en el próximo verano (diciembre 2016-marzo 2017) hay mayores probabilidades que se presenten condiciones neutras en el Pacífico Oriental (75%). Para el Pacífico Central, las condiciones más probables serían neutras (54%) y de La Niña débil (35%).

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 04 de agosto de 2016

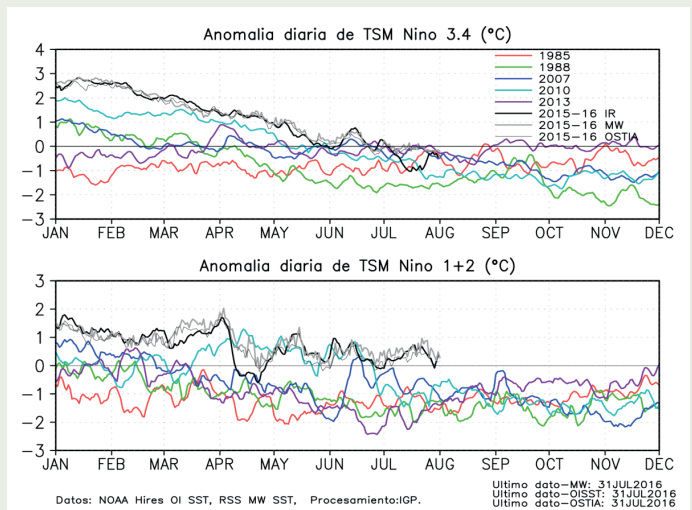


Figura 1. a) Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 y en b) la región Niño 1+2. Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color rojo, azul, celeste y verde, indican la evolución de la anomalía de la TSM para los años de La Niña costera 1985, 2007, 2010 y 1988.

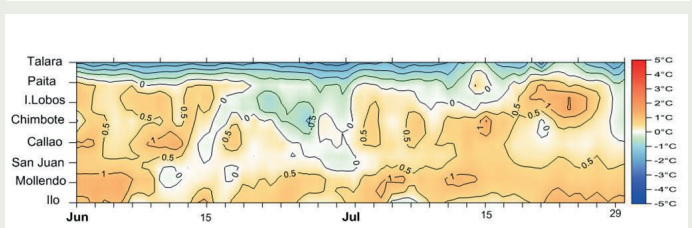


Figura 2. Diagrama Hovmöller de la evolución de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral desde junio al 30 julio 2016, en base a las observaciones diarias en las estaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).

Tabla 1. Probabilidades de las magnitudes de El Niño costero – La Niña costera en el verano 2016-2017 (diciembre 2016-marzo 2017)

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	3%
La Niña débil	15%
Neutro	75%
El Niño débil	6%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%

Tabla 2. Probabilidades de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico Central en el verano 2016-2017 (diciembre 2016-marzo 2017)

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	5%
La Niña débil	35%
Neutro	54%
El Niño débil	4%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	2%



© Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317 2300
<http://www.igp.gob.pe>
 <http://www.facebook.com/igp.peru>
 http://twitter.com/igp_peru

En el marco del:

