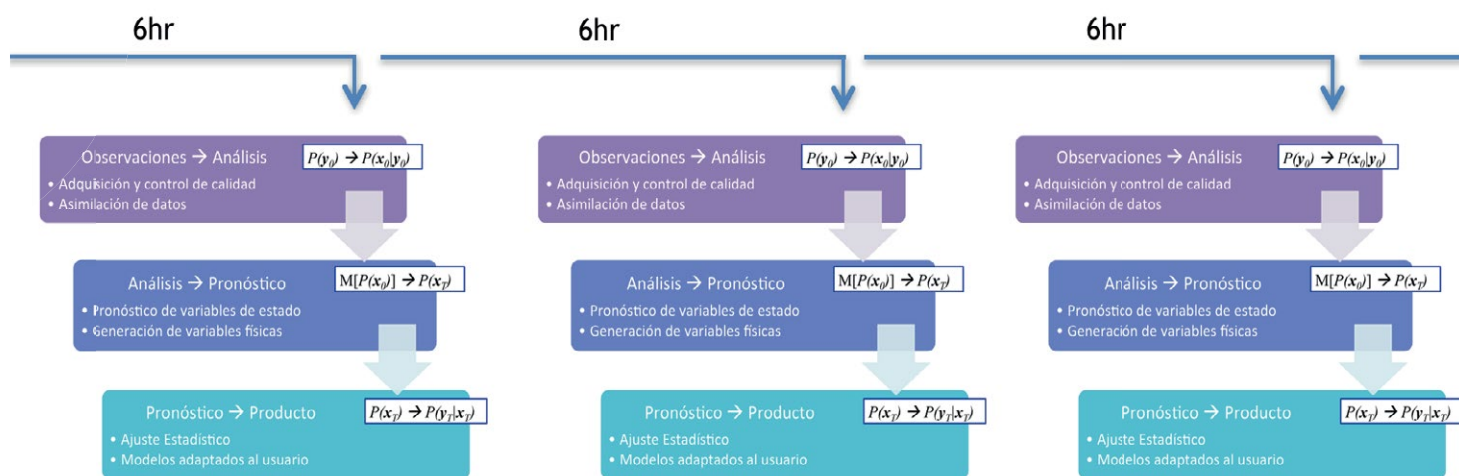


Programa Presupuestal por Resultados N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

Desarrollo y uso de sistemas numéricos de pronóstico estacional



Esquema del proceso de datos en un sistema de pronóstico estacional separado en tres etapas



Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 7 Artículo de Divulgación Científica

8 - 9 Avances Científicos

10 - 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

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Edmundo Norabuena
Director Científico IGP

Jhan Carlo Espinoza
Director de SCAH

Ken Takahashi
Responsable de la elaboración del Boletín El Niño - IGP

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

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Peña, 2017

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

Impreso por:
IAKOB COMUNICADORES & EDITORES SAC.
Telf.: (51-1) 296-3911
Dirección: Jr. Ica 435 - Lima

Lima, Setiembre de 2017

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-02860

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 de la Comisión 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:
<http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



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 de la Comisión 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.

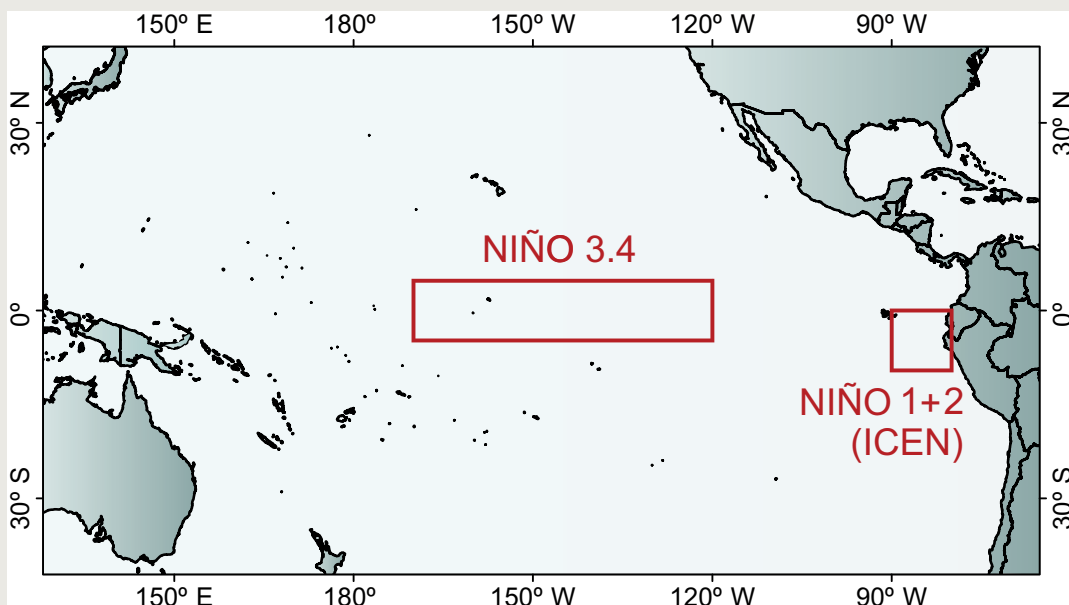
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Esta Comisión es de naturaleza permanente, depende del Ministerio de la Producción y tiene por objeto la emisión de informes técnicos de evaluación y pronóstico de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico-pesqueras, ecológico marinas e hidrológicas que permitan mejorar el conocimiento del Fenómeno “El Niño” para una eficiente y eficaz gestión de riesgos (Decreto Supremo N° 007-2017-PRODUCE).

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, emite mensualmente 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 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.

Artículo de Divulgación Científica

Desarrollo y uso de sistemas numéricos de pronóstico estacional

Introducción

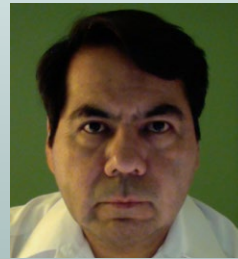
Los sistemas numéricos de pronóstico climático producen las guías numéricas y gráficos que se utilizan en los centros de predicción estacional. Los sistemas procesan datos a través de una cadena de algoritmos que va desde el control de calidad de las observaciones, extracción de información observacional, hasta el pronóstico y despliegue de mapas representando posibles estados futuros del clima. El valor que tienen estos productos depende del usuario pero para los pronosticadores este depende tanto de la calidad y contenido de la información del pronóstico como de su confiabilidad y qué tan oportunamente el producto llega a sus manos. El pronóstico en sí no tiene un valor intrínseco a menos que se le utilice para tomar decisiones ante un evento anticipado (Murphy, 1993).

Al menos cuatro capacidades tecnológicas deben existir para tener un pronóstico climático exitoso: una red de observaciones capaz de muestrear eficazmente los procesos relevantes en el clima, un esquema numérico que acopie y resuma los datos presentes y pasados y los convierta en una serie consecutiva de campos tridimensionales de variables climáticas consistentes entre sí según las leyes de la física, un método o modelo que proyecte el estado presente a un estado futuro y finalmente un procedimiento estadístico que convierta las salidas del modelo a un producto para el usuario. Estas capacidades han avanzado aceleradamente en las últimas décadas e integradas a un sistema de predicción, se les considera una de las revoluciones científicas más importantes de la historia (Bauer et al., 2016), si bien existen desafíos científicos, tecnológicos y económicos para continuar avanzando y haciéndolas más cercanas a las necesidades de los usuarios.

La ciencia y la tecnología del pronóstico del tiempo y el clima continúa expandiéndose tanto en lo referente al entendimiento de los principales fenómenos que dan lugar al estado promedio y variabilidad del clima como en lo referente a los nuevos sistemas de observación, procesamiento de datos, y generación de productos derivados. A continuación se describen brevemente algunos conceptos esenciales que permiten reconocer la ciencia, métodos y procedimientos que subyacen en la predicción estacional desde la perspectiva numérica operativa.

Diferencia entre sistema y modelo de pronóstico

Los sistemas numéricos de pronóstico del tiempo y estacional están compuestos de una serie de procedimientos lógicos, representados en algoritmos que extraen la información contenida en los datos de las redes de observaciones, típicamente dispersas en el tiempo y espacio, la filtran y la transforman en representaciones de las variables atmosféricas y/o oceánicas en mallas regulares, produciendo lo que se conoce como “análisis”. Estos análisis son



Dr. Malaquías Peña
Centro de Modelación Ambiental del NWS/
NOAA(EE.UU.)

Dr. en Meteorología de la Universidad de Oklahoma y Maryland, EE.UU. Es profesor asociado en el departamento de Ingeniería Civil y del Medio ambiente en la Universidad de Connecticut (EE.UU); es ingeniero consultor en el Centro de Modelación Ambiental del NWS/NOAA. Se graduó como Físico en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es autor de artículos de alto impacto citados por más de 2000 publicaciones de acuerdo con Google Scholar. Su investigación se centra en las áreas de la modelación numérica y predicción del clima. Ha sido consultor a través de la OMM para la promoción de recursos humanos y capacidades de pronóstico numérico en meteorología en Latinoamérica.

subsecuentemente transformados al espacio matemático del modelo de pronóstico para luego ser proyectadas a futuro.

Estos pronósticos son después transformados de regreso al espacio de las observaciones donde es interpolado y ajustado estadísticamente hasta generar el producto final requerido. En contraste con un sistema de pronóstico, un modelo de pronóstico es la síntesis del conocimiento de la evolución del clima que se obtiene al adaptar las ecuaciones que gobiernan la dinámica de la atmósfera, el océano y otros sub-sistemas, a las estadísticas de observaciones de análisis históricos; su propósito es llevar un estado del clima, representado en su espacio matemático, en un tiempo dado a otro estado futuro del mismo. Dos aspectos son importantes de considerar aquí. Uno es que el problema de pronóstico en un modelo es en esencia un problema de valor inicial (o problema de Cauchy) que es resuelto para cada elemento de la malla. El segundo aspecto es que las salidas del modelo están en el espacio del modelo y regresarlas al espacio físico (por ej. corregir los errores sistemáticos del modelo) es un problema que generalmente involucra relaciones empíricas y herramientas estadísticas tal como el Teorema de Bayes. Por otro lado, el objetivo de un sistema de pronóstico es el de extraer toda la información disponible, procesarla hasta tener un producto final en el menor tiempo posible, y realizar los múltiples procesos eficientes y confiables.

Este último punto es lo que diferencia entre un sistema rutinario o experimental y un sistema operativo. En un sistema de pronóstico operativo se busca tener una confiabilidad del 100% de que el producto estará listo a la hora convenida. Esto implica fuertes demandas en los sistemas de cómputo tanto para correr los procesos a altas velocidades como para tener suficiente redundancia y esquemas de contingencia en caso de que haya problemas durante la integración del modelo.

Elementos típicos de un sistema de pronóstico

En la figura 1, se muestra un diagrama de las componentes típicas de un sistema de pronóstico separado en tres bloques. Estos procesos numéricos se repiten generalmente cada seis horas. A continuación describimos cada proceso.

Desarrollo y uso de sistemas numéricos de pronóstico estacional

Peña, M.

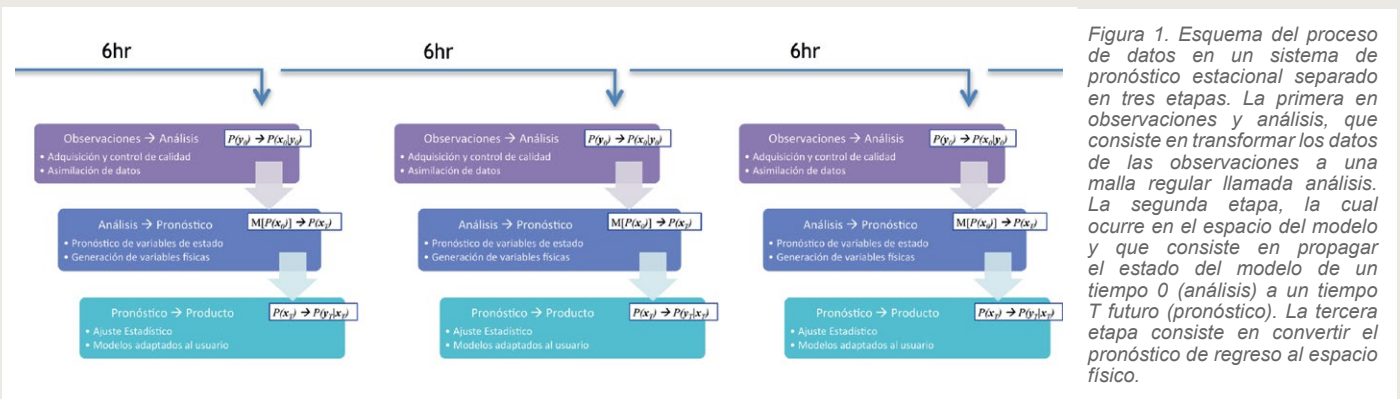


Figura 1. Esquema del proceso de datos en un sistema de pronóstico estacional separado en tres etapas. La primera en observaciones y análisis, que consiste en transformar los datos de las observaciones a una malla regular llamada análisis. La segunda etapa, la cual ocurre en el espacio del modelo y que consiste en propagar el estado del modelo de un tiempo 0 (análisis) a un tiempo T futuro (pronóstico). La tercera etapa consiste en convertir el pronóstico de regreso al espacio físico.

La adquisición y control de calidad de datos, aunque menos glamorosas que otras componentes del sistema tal como la asimilación de datos, son de suma importancia para proveer la información de las redes de observación tanto al esquema de asimilación como para la generación de bases de datos climáticos. Para el caso de la atmósfera y datos de superficie, el NCEP utiliza el sistema MADIS (<https://madis.ncep.noaa.gov>) que decodifica los datos y los codifica en un formato común de unidades y sello de tiempo. En componentes climáticas del modelo tal como el océano y el hielo, la información es procesada de igual manera por diversos grupos encargados de los análisis correspondientes. En tiempo real, los datos son copiados y pasan por una serie de procesos dependiendo del tipo de observación que toma alrededor de 10 minutos.

Los controles de calidad de datos van desde los más simples (nivel 1) en donde se verifica que los valores observados caigan dentro de un intervalo de tolerancia prescrito, a un segundo nivel en donde se verifica que los valores tengan consistencia interna, temporal e histórica-espacial, hasta un tercer nivel en donde se verifica que los valores sean consistentes con los valores de datos vecinos usando la técnica de Interpolación Óptima (Gandin 1963). Dentro de los esquemas de asimilación de datos también existen otros controles de calidad. En estos controles, los valores del dato observado son comparados con un campo preliminar ("first guess") correspondiente al mismo tiempo y región geográfica, y según la diferencia se decide si el dato se toma en cuenta en el análisis o no. Para entender la importancia del control de calidad dentro del esquema de asimilación debe notarse que el esquema genera el análisis como un promedio pesado entre las observaciones y el campo preliminar. Los pesos que utiliza el esquema de asimilación se modelan a partir de estimar la varianza de los errores tanto de las observaciones como del campo preliminar. Si la distribución de errores no coincide con el error real de la observación, es posible que el esquema le dé un peso mayor o menor a lo que debería respecto al peso del campo preliminar, o que el sistema no converja a una solución correcta (Purser, 2011). Esto produciría un pronóstico erróneo.

La piedra angular de los sistemas de pronóstico es el esquema de asimilación de datos, el cual produce los análisis que sirven tanto como condiciones iniciales para el pronóstico, como campos de referencia durante el proceso

de evaluación del pronóstico. Información detallada de los esquemas puede obtenerse en Kalnay (2002). Como se había indicado antes, el esquema de asimilación asigna pesos relativos entre las observaciones y el campo preliminar para calcular el análisis. El promedio pesado dará un análisis determinista. En forma general y considerando las observaciones y el campo preliminar como distribuciones de probabilidad $P(x)$ y $P(y)$, respectivamente, la asimilación de datos se le puede ver como un problema estadístico de estimación condicionada. En este caso la estimación del estado del clima, representado por el campo preliminar, está condicionado a las observaciones que están disponibles en el tiempo del análisis: $P(x_0|y_0)$, donde el subíndice 0 indica el tiempo del análisis. Los esquemas de asimilación han avanzado considerablemente con el uso de métodos Monte-Carlo (referidos como métodos de ensemble) para la estimación del estado del clima y su incertidumbre. Para área aún en desarrollo es la de asimilación de datos para modelos acoplados océano-atmósfera. Hasta ahora, un esquema es aplicado a cada componente del modelo climático. Así tenemos un análisis para la atmósfera, otro para el océano, etc. Los análisis se acoplan durante la integración del modelo acoplado (e.g., CFSv2, Saha et al., 2014) en el tiempo. A este método se le llama "weakly coupled". Hay altas expectativas en los métodos "strongly coupled", en donde observaciones en el océano afectan el análisis en la atmósfera; o en donde observaciones en la atmósfera afectan al análisis del océano.

Una vez que el campo preliminar corregido o condicionado por las observaciones se transforman al espacio del modelo M, el siguiente paso es integrar a futuro el modelo de pronóstico partiendo de estas condiciones iniciales proporcionadas por el análisis. En este caso $M[x_0] = xT$ para un pronóstico determinista, o $M[P(x_0)] = P(xT)$ denotando la proyección del tiempo 0 al tiempo T para el caso de ensembles. Existen varias clases de modelos de pronóstico, incluyendo modelos analíticos, empíricos y dinámicos, y en cada clase existen diferentes grados de sofisticación o jerarquía en la representación de los procesos físicos observados. Los modelos mas exhaustivos se componen de sub-modelos acoplados entre sí cada uno representando las componentes del sistema natural climático tal como el océano, la atmósfera, la litosfera, etc. A estos modelos se les han dado diferentes nombres como Coupled Global Circulation Models (CGCMs) para diferenciarlos de los modelos estadísticos; actualmente se refieren a ellos como modelos del sistema de la Tierra

(Earth System Models; ESM) porque también incluyen componentes que realizan procesos geoquímicos. La figura 2, muestra las componentes típicas de un ESM y los rangos donde se espera el mayor beneficio.

Continuando con la figura 1, una vez que el pronóstico de las variables de estado ha completado o mientras se está completando, las variables se transforman al espacio físico y se generan cientos de variables a partir de las variables de estado y ecuaciones de diagnóstico. En la última etapa, llamada post-procesamiento, las variables se ajustan estadísticamente y, dependiendo de los usos, estas variables alimentan otros modelos anidados, para pronóstico regional, o “downstream” para el pronóstico hidrológico, etc. Es importante considerar que las salidas de los modelos de pronóstico en el NCEP se colocan de manera automática en los servidores FTP públicos con la expectativa de que los usuarios realicen su propio post-procesamiento y evaluación.

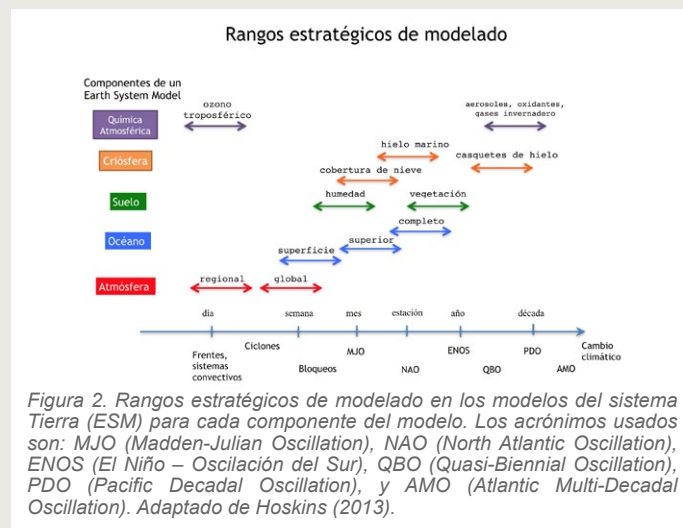
Actualmente también se ponen a disposición tanto los “reanalysis” (análisis de los años pasados) como los reforecasts (o también llamados hindcasts, que son pronósticos retrospectivos), para post-procesar efectivamente los pronósticos crudos.

Fuentes de predicción

El largo y costoso proceso de realizar un pronóstico estacional por medios numéricos debe ser justificado con resultados que demuestren que los pronósticos tengan habilidad predictiva superior a la de los pronósticos basados en métodos empíricos tales como persistencia o promedio histórico. Otro método empírico es el de los análogos. La idea fundamental es que lo que ocurrió en el pasado puede ocurrir en el futuro si se tuvieran condiciones idénticas del estado climático. La dificultad es que es imposible encontrar estados análogos en la limitada serie de datos históricos considerando los billones de diferentes variantes o grados de libertad que definen completamente el estado del clima natural. Tomaría del orden de 1030 años encontrar análogos de los campos típicos en el dominio hemisférico (van den Dool 1994). El hecho de que la atmósfera es caótica, y consecuentemente las demás componentes climáticas acopladas lo son, hace que una pequeña diferencia entre el análisis y su análogo pueda crecer exponencialmente con el tiempo resultando en dos escenarios completamente distintos. En otras palabras, una pequeña diferencia en el estado inicial puede no significar una diferencia pequeña en el estado final. El principio de análogos también se utiliza para hacer los ajustes estadísticos del pronóstico en la etapa de post-procesamiento. Por ejemplo, para hacer correcciones de sesgo, se utilizan promedios con datos históricos y se espera que las estadísticas del pasado se puedan aplicar los pronósticos.

En contraste con los análogos, en el caso de Earth System Models se asume que las leyes físicas que gobiernan al clima no cambian con el tiempo. Las principales fuentes de predictibilidad provienen de las señales o efectos que se han logrado reproducir en simulaciones basadas en ecuaciones físicas. El investigador intenta entender y reproducir un

fenómeno observado a través de las ecuaciones de la dinámica de fluidos y algunas ecuaciones físicas complementarias que representan simplificada los procesos reales por ejemplo la convección y la turbulencia en la capa límite planetaria. En la figura 3, se muestran algunos fenómenos identificados en las observaciones. Una vez que la descripción y simulación del fenómeno es suficientemente realista, se puede considerar una fuente de predictibilidad. Desde el punto de vista estadístico, el entender un fenómeno permite al pronosticador reducir el número de posibles estados futuros. Por ejemplo, si tenemos un evento El Niño apenas iniciando, el pronosticador pudiera anticipar aproximadamente las consecuencias conforme el evento se desarrolla y se disipa. La figura 4 es un compuesto del impacto en la temperatura y precipitación ante el fenómeno del Niño en diferentes regiones del globo. Es importante tener en cuenta que las conexiones estadísticas entre un fenómeno como el Niño con efectos en algunas regiones geográficas específicas es solo estadística. Es posible que los efectos de un evento El Niño se vean modificados por otros procesos ocurriendo a otras escalas de tiempo en otros dominios (Barnston et al., 2005) resultando en forzamientos locales o remotos. Además de El Niño existen docenas de procesos y mecanismos que influyen la variabilidad climática en una región específica. Los controles de gran escala son representados por índices o modos preferidos de variabilidad (Ver tabla en <http://rainbow.ideo.columbia.edu/~alexeyk/Papers/Kaplan2011picv.pdf>).



Prácticas actuales

Reconociendo la incertidumbre natural de los pronósticos, las prácticas actuales para realizar los pronósticos incluyen correr estos modelos en modo ensemble y organizando ensembles generados en varias instituciones en los llamados ensembles Multi-Modelos (Multi-Model Ensembles, MME; Kirtman et al., 2014). La idea de combinar las salidas de los modelos no es reciente; por décadas los pronosticadores han utilizado métodos ingeniosos para mezclar las salidas de un modelo con la de otro, o han seleccionado un modelo de un conjunto de modelos que tienen a su disposición. Se está dejando atrás la idea determinista de los pronósticos y una gran tarea es la de crear ensembles que representen la

Desarrollo y uso de sistemas numéricos de pronóstico estacional

Peña, M.

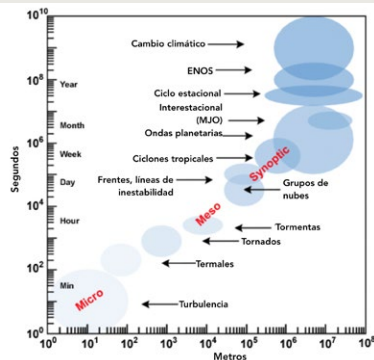


Figura 3. Escalas de tiempo y espacio de fenómenos climáticos. Imagen cortesía de The COMET Program, UCAR.

incertidumbre en el pronóstico. Lo que sí es nuevo es que ahora los pronosticadores se ven virtualmente inundados de cientos de salidas de modelos y no hay tiempo de analizarlos todos y mucho menos de combinarlos mentalmente en el corto tiempo que tienen para crear sus productos. Este problema se ha abordado a través de métodos de consolidación (e.g., Peña and van den Dool, 2008). Otros usuarios desearían poder utilizar estos ensembles para detectar solamente los casos extremos para tomar decisiones ante riesgos cuando valores de índices establecidos excedan umbrales específicos. Varios centros desarrollan algoritmos para el soporte de decisión (DSS), los cuales intentan sintetizar toda la información en índices críticos (e.g., Dutra et al., 2013) definidos por el usuario. La práctica de incorporar reanálisis y hindcasts como herramientas para post-procesar los datos crudos del pronóstico están logrando producir pronósticos probabilísticos estadísticamente confiables. Se ha notado que cuando los pronósticos promedio de los MME tienen mejor habilidad predictiva que los promedios de ensembles de modelos individuales y estos son mejores a los pronósticos deterministas del mismo modelo. Los MME también proveen un mayor muestreo de la distribución de probabilidad del pronóstico por lo que son útiles para la detección de extremos.

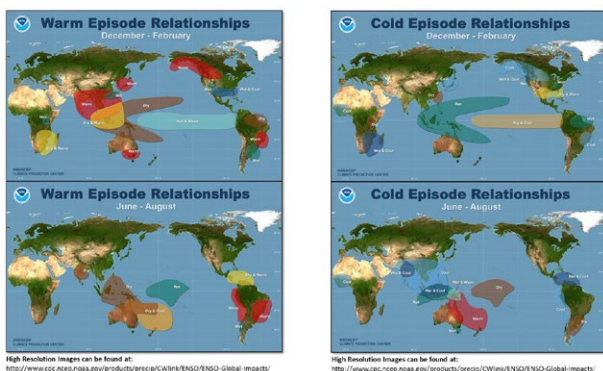


Figura 4. Compuento del impacto global del ENOS en anomalías de temperatura y precipitación durante episodios calientes (El Niño) en los paneles de la izquierda y durante episodios fríos (La Niña) en los paneles de la derecha. Fuente: CPC/NWS/NOAA.

Conclusión y direcciones futuras

A medida que los modelos se vuelven más hábiles y confiables, los métodos para generar las guías numéricas del clima han pasado de enfoques subjetivos a técnicas

numéricas cada vez más objetivas y con menos supervisión.

Sin embargo, la intervención humana típicamente aumenta la habilidad y el valor de los productos finales y es esencial para la interpretación, optimización y uso efectivo del producto.

Los centros meteorológicos se esfuerzan por proporcionar productos informativos, precisos y oportunos incorporando e implementando nuevas ciencias y técnicas, lo que explica su estrecha relación con la comunidad científica. Los principales hitos científicos y tecnológicos asociados con la predicción del clima se han logrado a través de la colaboración nacional e internacional para atraer a expertos y fondos. Los desafíos para modelar de manera realista el sistema climático son muchos, pero aquellos destacados por la comunidad científica incluyen una mejor representación de modelos de procesos a escala fina en nubes, remolinos oceánicos e interacciones y retroalimentación superficiales, y una mejor integración de componentes climáticos modelo. Los pronósticos más hábiles también están condicionados a mayores recursos informáticos, sistemas de observación más extensivos, estrategias, asimilación efectiva de datos y esquemas de inicialización de modelos para los sistemas de predicción climática acoplados.

La gran cantidad de datos ahora disponible está dando curso a nuevos desarrollos interdisciplinarios como la introducción de conceptos tales como "Big Data", y "data-driven" models, lo cual plantea nuevas preguntas: ¿Cómo se incorporarán estas disciplinas dentro del esquema de un sistema numérico de pronóstico? O tal vez, ¿Cómo los sistemas numéricos de pronóstico se incorporarán en otros esquemas mayores por ejemplo sistemas social-ecológicos o población-naturaleza?

Referencias

Bauer et al., 2015: The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525, 47-55.

Barnston et al., 2005: Improving seasonal prediction practices through attribution of climate variability. *Bull. Atmos. Meteorol. Soc.*, 86, 59-72.

Dutra et al., 2013: The extreme forecast index applied to seasonal forecasts. *ECMWF Technical Memorandum 703*.

Gandin, L. S., 1963: *Objective Analysis of Meteorological Fields*. *Gidro-meteorologicheskoe Izdarwistvo (GIMZ)*, Leningrad. (Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1965, 242 pp.)

Hoskins, B., 2013: Review Article.

The potential for skill across the range of the seamless weather-climate prediction problem: a stimulus for our science. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 139, 573-584.

Kalnay E., 2002: *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*, Cambridge University Press, December 2002

Kirtman, B. P., and Coauthors, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-interannual prediction: Phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585-601

Murphy, A. 1993: What is a good forecast?, *Wea. Forecasting*, 8, 281-292.

Peña, M., and H. van den Dool, 2008: Consolidation of multimodel forecasts by ridge regression: Application to Pacific sea surface temperature. *J. Climate*, 21, 6521-6538

Purser, J., 2011: Mathematical principles of the construction and characterization of a parameterized family of Gaussian mixture distributions suitable to serve as models for the probability distributions of measurement errors in nonlinear quality control. *NCEP Office notes 468*.

Saha et al., 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J. Climate*, 27, 2185-2208.

Van den Dool 1994: Searching for analogues, how long must we wait?, *Tellus*, 46,314-324.

Downscaling Estadístico para las Lluvias de verano del Perú: verano 2017

Juan Sulca y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

Introducción

El patrón observado de las anomalías de lluvias del Perú durante el verano 2017, según los datos de SENAMHI (Figura 1a), se caracterizó por fuertes condiciones húmedas en la costa norte peruana. Tales condiciones húmedas trajeron impactos negativos en la infraestructura local, principalmente en la región Piura (ej. Martínez and Morón, 2017). La Figura 1 muestra que también los Andes orientales y el noroeste de la Amazonía peruana registraron mayores precipitaciones, mientras que lo opuesto prevaleció en los Andes orientales del sur y el Altiplano. Según estos datos las condiciones secas fueron más severas en la región de Madre de Dios y Ucayali. Climatológicamente, este verano 2017 se caracterizó por un evento de El Niño Costero moderado frente a la costa norte del Perú y condiciones neutrales, aunque ligeramente frías en el Pacífico central tras salir de condiciones La Niña en esta región (ENFEN, 2017). Ambas condiciones aparentemente influenciaron sobre las lluvias de este verano en el Perú.

La predicción estacional de la lluvia en el Perú se dificulta por la gran incertidumbre en los modelos de pronóstico asociada a sus errores sistemáticos (ej. Takahashi 2015), a su pobre resolución espacial y al corto registro observacional. Otra razón es que las lluvias de verano del Perú son influenciadas por diferentes procesos físicos de gran escala tales como El Niño-Oscilación Sur (ENOS), el cual afecta a la circulación atmosférica a través de sus efectos en los sistemas de convección en el Pacífico tropical como la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (SPCZ) y la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) (Sulca et al., 2017). Una forma de superar el problema de la baja resolución y los errores de simulación en nuestro territorio es a través de técnicas de “regionalización” o “downscaling” (en inglés).

El *Downscaling* es un método que deriva local y regional información de los modelos de gran escala (Benestad et al., 2008). Este método se divide en dos grandes grupos: *Downscaling* Dinámico y *Downscaling* Estadístico. Los modelos de *Downscaling* Dinámico (DD) obtienen información climática local de los modelos climáticos regionales (RCMs, siglas en inglés) (en el orden de decenas de kilómetros) sobre áreas limitadas o modelos climáticos globales con resolución variables. Los modelos de *Downscaling* Estadístico (SD) usan relaciones empíricas entre variables de gran escala (predictores) y las variables locales en la superficie (predictandos), las cuales han sido derivados usando registros de datos observados de condiciones pasadas. La gran ventaja de los modelos SD sobre los modelos DD es su eficiencia computacional ya que requieren poco costo, pero requieren registros

suficientemente largos (varias décadas) y se debe tener un entendimiento de los mecanismos físicos para una correcta selección de los predictores. Tener buenos modelos de *Downscaling* es importante para aportar información confiable que sirva de base para la toma de decisiones a nivel local y regional.

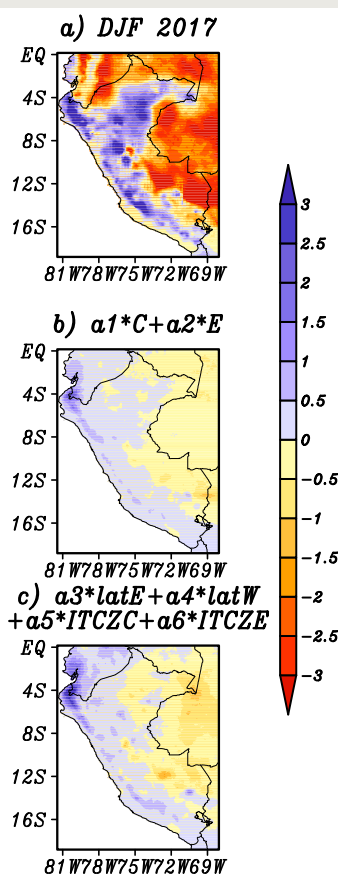


Figura 1. a) Patrón de anomalías observadas de precipitación en diciembre 2016-febrero 2017 (datos: PISCO) y los estimados mediante modelos de regresión múltiple usando b) los índices ENOS (E y C) y c) los índices convectivos (latE, latW, ITCZC y ITCZE) según Sulca et al. (2017).

Datos y Metodología

El presente estudio evalúa el modelo simple de DS de Sulca et al. (2017) para estimar el patrón espacial de las lluvias de verano del Perú del 2017 mediante dos modelos de regresión lineal múltiple: uno usando los índices de temperatura superficial del mar E y C (Takahashi et al., 2011; <http://www.met.igp.gob.pe/datos/EC.txt>) como predictores, los cuales permiten caracterizar diferentes tipos de eventos El Niño/La Niña, y otro modelo usando cuatro índices correspondientes a los sistemas convectivos SPCZ (índices latW y latE) y ITCZ (índices ITCZC y ITCZE) en el Pacífico tropical.

Para caracterizar el patrón espacial de las lluvias del Perú, usamos datos grillados de precipitación mensual del producto PISCO (Lavado-Casimiro et al., 2016) generados

Downscaling Estadístico para las Lluvias de verano del Perú: verano 2017

Juan Sulca y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

por SENAMHI. Asimismo, PISCO tiene una resolución horizontal de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ y su periodo va de 1982 al presente (ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_PREC).

Nosotros usamos los índices ENOS y regiones convectivas del Pacífico (SPCZ e ITCZ); los cuales fueron documentados en Takahashi et al. (2011) y Sulca et al. (2017), respectivamente. Usamos datos mensuales grillados de precipitación de CMAP (Xie and Arkin, 1997) para estimar los índices convectivos (latW, latE, ITCZC e ITCZE). El CMAP tiene una resolución horizontal de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ y su registro va desde 1979 al presente. La estimación de los índices convectivos se da a través de anomalías calculadas con respecto al periodo base 1982-2011. Los valores de todos los índices para el verano 2017 son mostrados en la Tabla 1.

DEF	E	C	latE	latW	ITCZC	ITCZE
2017	0.52	-0.54	-0.03	-0.50	1.29	1.14

Tabla 1. Valores de los índices ENOS (E y C) y regiones convectivas (SPCZ y ITCZ) para el verano 2017

Resultados preliminares

Los patrones estimados de lluvias de verano 2017 a través de la combinación lineal de los índices ENSO (Fig. 1b) y los índices convectivos (Fig. 1c) reproducen adecuadamente el patrón espacial observado (Fig. 1a), pero ambos modelos subestimaron la intensidad observada, tanto de las condiciones húmedas a lo largo de la costa norte peruana, los Andes peruanos y la Amazonía peruana, como de las condiciones secas sobre Ucayali y Madre de Dios.

La subestimación en la costa norte podría deberse a la relación no-lineal entre las precipitaciones en esta región y las temperaturas del mar en la costa de Perú, donde las lluvias intensas ocurren cuando se supera el umbral 26°C en la temperatura absoluta (Woodman y Takahashi, 2014; Ramos 2015). Más aún, la influencia del Pacífico central es importante ya que el caudal del río Piura, por ejemplo, presenta una relación aproximadamente exponencial con la diferencia entre las temperaturas de la región Niño 1+2 y en el Pacífico central-occidental (Takahashi y Martínez 2017), la cual se verificó en el 2017 (Fig. 2). Por otro lado, si bien el índice E representa el calentamiento en el Pacífico oriental, el patrón asociado tiene mayor extensión hacia el oeste que el observado en el 2017, por lo que este índice ha subestimado el calentamiento relevante para las lluvias. En cuanto a la región andina y amazónica, los errores se deben en parte a que ambos modelos no consideran la influencia del océano Atlántico, el cual también es importante para ambas regiones (Espinoza 2014).

Estos resultados son una evaluación objetiva independiente de la metodología de Sulca et al. (2017), ya que dicho estudio fue concluido antes de que se observen las condiciones del presente año y, por lo tanto, estas no fueron incorporadas al estudio.

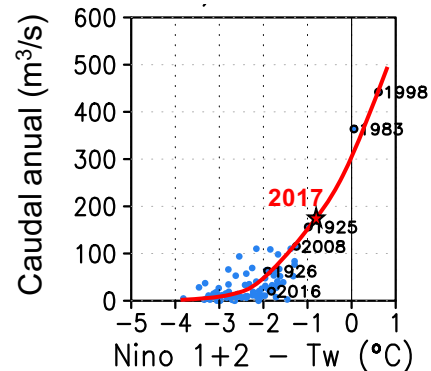


Figura 2. Caudal anual del río Piura como función de la diferencia de temperatura superficial del mar de febrero-marzo entre la región Niño 1+2 en el Pacífico oriental ($90^\circ\text{--}80^\circ\text{W}$, $10^\circ\text{S--}0^\circ$) y la región Tw en el Pacífico central-occidental ($155^\circ\text{E--}175^\circ\text{W}$, $5^\circ\text{S--}5^\circ\text{N}$). La curva roja es referencial. Adaptado de Takahashi y Martínez (2017).

Esta evaluación con datos nuevos es importante puesto que nos permite identificar limitaciones que podrían haber sido ignoradas durante la investigación. De esta manera ayudará a mejorar estos modelos empíricos, que se espera serán más confiables en el futuro.

Referencias

- Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I., Chen, D. (2008) *Empirical-Statistical Downscaling*. World Scientific, 215 pp.
- ENFEN (2017) *El Niño costero 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN*
- Lavado-Casimiro, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., Obando, OF. 2016. PISCO: Peruvian interpolated data of the SENAMHI's climatological and hydrological observations. *Precipitación v1.0. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, pp. 1–4.
- Espinoza, J. C. (2014) *Influencia de los océanos Atlántico y Pacífico en la hidrología de la cuenca amazónica peruana. Boletín Técnico del Niño – IGP*, 1(9): 4-8.
- Martínez, A and Morón, K. (2017) *Comparación entre los impactos de los eventos de El Niño costero 1925 y 2017. Boletín Técnico del Niño – IGP*, 4(4): 8-9.
- Ramos, Y. (2015) *El cambio climático y la lluvia en la costa norte. Boletín Técnico del Niño – IGP*, 2(8): 4-8.
- Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.C., Vuille, M., Lavado-Casimiro, W. (2017) *Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.5185
- Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., Dewitte, B. 2011. *ENSO regimes: reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. Geophys. Res. Lett.* 38: L10704. doi: 10.1029/2011GL047364
- Takahashi, K., Martínez, A. (2017) *The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics.* doi:10.1007/s00382-017-3702-1
- Takahashi, K. (2015) *Modelos climáticos y sus errores promedio en el Pacífico. Boletín Técnico del Niño – IGP*, 2(6): 4-8
- Woodman, R. y Takahashi, K. (2014) *¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)? Boletín Técnico del Niño – IGP*, 1(6): 4-7.
- Xie, P., Arkin, P.A. 1997. *Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78: 2539–2558. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2539:GPAYMA.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2539:GPAYMA.2.0.CO;2).

Resumen del Informe Técnico PPR/EI Niño - IGP/ 2017-6

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión 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

Para el mes de mayo de 2017, el Índice Costero El Niño (ICEN) basado en ERSST indicó una condición climática Neutra (+0.39°C) mientras que el valor del ICENOI correspondió a una condición climática Cálida Débil (+0.52°C). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) coinciden en mostrar condiciones Neutras para los meses de junio y julio, respectivamente. Según el ICEN basado en ERSST, el evento El Niño costero habría terminado en el mes de abril, pero según el ICENOI estimado, el evento habría terminado en mayo.

Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA en mayo, así como los estimados para junio y julio, continuaron indicando condiciones neutras.

Para los meses de agosto y setiembre, cinco de los siete modelos numéricos internacionales de NMME, inicializados en el mes de julio, predicen condiciones Neutras en el Pacífico oriental, mientras que los otros dos indican condiciones costeras Cálidas Débiles. Para el mes de octubre, seis modelos indican condiciones Neutras y solo uno indica condición Cálida Débil.

Para el Pacífico central, cuatro de siete modelos de NMME indican condiciones Neutras y tres modelos indican condiciones Cálidas Débiles en el mes de agosto. Para el mes de setiembre, cinco de siete modelos indican condiciones Neutras, y dos de siete indican condiciones Cálidas Débiles. Estos pronósticos son, en promedio, menos cálidos que los del mes anterior.

La onda Kelvin cálida observada a inicios de junio habría influido en las corrientes zonales superficiales en la franja ecuatorial. Según de la profundidad de la termoclina, la onda Kelvin fría formada por un pulso de anomalía de viento ecuatorial del este en 180° en la quincena de mayo habría disminuido en magnitud, de manera que no habría afectado las anomalías positivas de la misma variable en el extremo oriental.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2; actualizados hasta el mes de junio de 2017 del producto ERSST v3b, generados por el Climate Prediction Center (CPC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EEUU); se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de mayo de 2017. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2017	Febrero	0.93	Cálida Débil
2017	Marzo	1.11	Cálida Moderada
2017	Abril	0.91	Cálida Débil
2017	Mayo	0.39	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN (ERSST v3b).
(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

Según los valores del ICENtmp, se estima que en junio y julio de 2017 las condiciones serían Neutras. El ICENtmp de junio será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de julio de 2017.

Como se indicó en el informe del mes de febrero los datos de ERSST v3b para la región Niño 1+2 habrían subestimado las temperaturas del verano que pasó. Por este motivo, también se estimó el ICENOI, que se obtuvo igual que el ICEN, pero usando los datos mensuales de OISST.v2 y las climatologías de ERSST v3b (<http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>).

Los valores del ICENOItmp estimados para junio y julio 2017 corresponden a condiciones Neutras. El ICENOItmp de junio será confirmado cuando se disponga del valor de OISST.v2 para el mes de julio de 2017.

Según el ICEN, el evento El Niño costero habría culminado en el mes de abril, mientras que según el ICENOI y el ICENOItmp, este habría terminado en el mes de mayo.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (Ocean Niño Index en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de mayo de 2017, es de +0.48°C, correspondiente a condiciones Neutras.

Los valores estimados (ONItmp), combinando observaciones y pronósticos, indican condiciones Neutras para los meses de junio y julio 2017. Considerando los valores del ONItmp, la máxima anomalía en el Pacífico central se habría presentado entre mayo (+0.48°C) y junio (+0.49°C), para luego disminuir ligeramente en julio, sin llegar a cruzar el umbral de condiciones cálidas.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Las anomalías de la TSM diaria (IR, MW, OSTIA) en la región Niño 3.4 continuaron en condiciones neutras, manteniéndose cerca al valor de +0.5°C, según los datos

satelitales, en la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM se mantuvo positiva en promedio, mostrando anomalías máximas cercanas a +0.3°C, +0.2°C y +0.2°C según los productos de MW, OSTIA, e IR, respectivamente. Sin embargo, los tres productos mostraron anomalías negativas en la segunda semana y últimos días de junio.

El esfuerzo de viento zonal mensual en el Pacífico central (160°E-160°W; 5°S-5°N) continuó con anomalía del este en mayo, siendo de menor magnitud que el mes anterior y próximo a su normal. En la primera semana del mes de junio, en el Pacífico occidental ecuatorial (entre 180° y 160°W) se presentaron ligeras anomalías de vientos del oeste, también se presentaron vientos del este (entre 140°W y 120°). La actividad convectiva en el Pacífico central ecuatorial se presentó alrededor de lo normal, aunque ligeramente reducida. El contenido de calor oceánico ecuatorial, así como la inclinación de la termoclina continuaron presentándose alrededor de lo normal, aunque la termoclina continúa en promedio anómalamente profunda/somera en el Pacífico oriental/central.

Las corrientes zonales en el Pacífico Ecuatorial, durante el mes de junio, mostraron anomalías positivas (corrientes hacia el este) en la parte superior del océano (<60m) entre 120° y 110°W. Esto podría deberse a la presencia de una onda Kelvin cálida durante este mes, según los datos de altimetría y corrientes zonales de OSCAR. Por otro lado, la onda Kelvin fría, formada por un pulso de anomalía de viento ecuatorial del este alrededor de 180° en la quincena de mayo, según la información de la profundidad de la termoclina, habría disminuido en magnitud y no habría afectado las anomalías positivas de la misma variable en el extremo oriental (ver panel "b" de la Figura 1).

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Para las primeras semanas de julio, el modelo GFS predice predominancia de ligeras anomalías de viento del este en el Pacífico ecuatorial, mientras que el modelo CFS predice fluctuaciones alrededor de lo normal.

Durante el mes de junio no se han observado pulsos de viento de una magnitud notable como para formar una onda Kelvin con suficiente energía para alcanzar la costa americana en las siguientes semanas y/o meses. Los resultados de los modelos oceánicos lineales forzado con ASCAT y NCEP muestran actividad de ondas Kelvin cálidas y frías de magnitud poco relevantes para las siguientes semanas y meses (ver Figura1). La actividad de ondas equatoriales Rossby cálidas en el extremo occidental del océano Pacífico se ha reducido, por lo que no se espera la presencia de ondas Kelvin reflejadas, de magnitud relevante, en los siguientes meses.

En la actualidad se ha desarrollado un pulso de viento del este al oeste de la línea de cambio de fecha (180°) aunque, por el momento, los modelos lineales no muestran el desarrollo de una Kelvin fría de magnitud notable (ver Figura 1).

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).

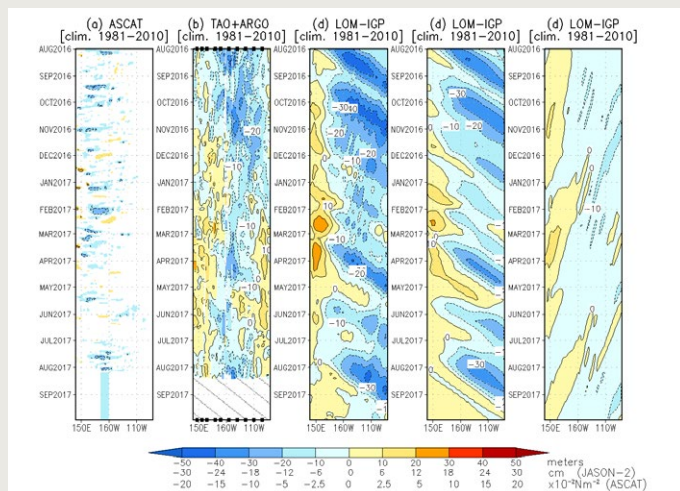


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escatómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP).

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2) con condiciones iniciales de julio, para los meses de agosto y setiembre 5 de 7 modelos indican condiciones neutras, 2 modelos pronostican condiciones cálidas débiles; para el mes de octubre, 6 modelos indican condiciones neutras y 1 modelo condiciones cálidas débiles. (Fig. 2). En contraste con los pronósticos del mes anterior, estos son menos cálidos y en algunos meses indican anomalías negativas. El promedio de los modelos indica condiciones neutras hasta el mes de enero de 2018.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en julio, para el mes de agosto, 4 de 7 modelos indican condiciones neutras y 3 modelos pronostican condiciones cálidas débiles; para el mes de setiembre, 5 de 7 modelos indican condiciones neutras y 2 modelos indican condiciones cálidas débiles. El modelo POAMA, también inicializado en julio, indica condiciones neutras para estos meses; sin embargo, sus anomalías son negativas.

En general, los pronósticos de los modelos han reducido sustancialmente la probabilidad de condiciones cálidas tanto costeras como en el Pacífico central ecuatorial. El CFS v2 es el modelo que más fuertemente ha reducido la probabilidad de El Niño. Esto está asociado al patrón de convección ecuatorial proyectado, con aumento en el Pacífico occidental y reducción en el central, lo cual se asemeja más a un patrón La Niña, así que los modelos no prevén la activación del proceso de retroalimentación de Bjerknes que permitiría que se desarrolle la fase cálida de El Niño-Oscilación Sur, sino que quizás lo contrario. Si bien el pronóstico promedio de NMME es predominantemente cálido hasta el verano 2017-2018 en el Pacífico ecuatorial, las máximas anomalías se prevén en el extremo occidental

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2017-6

(150°E-180°), más al oeste que el evento El Niño de “piscina cálida” (“warm pool El Niño”; Kug et al., 2009), lo cual hace que dinámicamente el efecto sobre los vientos ecuatoriales y la convección sean más similares a los de La Niña que a El Niño.

Más aún, el modelo CFS v2 predice anomalías negativas de TSM en el Pacífico ecuatorial central y oriental. En este escenario, si bien las condiciones formalmente podrían ser neutras, se podría esperar potencialmente mayores lluvias en los Andes y Amazonía este verano.

Resultados preliminares de un estudio en desarrollo sobre El Niño costero (Takahashi et al., 2017) indican que eventos como el de este año 2017, así como el de 1925 (Takahashi & Martínez, 2017), ocurren en asociación con condiciones tipo La Niña en el Pacífico central. Por otro lado, también parece ser necesario contar con sustanciales anomalías cálidas de TSM en el Pacífico sudeste, entre los 25°S y 15°S para el desarrollo de estos eventos, pero los modelos predicen débiles anomalías cálidas en esta región, a diferencia de lo observado en el 2016. Así que por lo pronto no parece probable que se den las condiciones para un evento El Niño costero como el ocurrido a inicios del 2017, pero se debe seguir monitoreando esta situación.

Pronóstico decadal

Continúa la anomalía cálida de TSM en el Pacífico sudeste subtropical observada desde el año 2015, aunque esta se ha reducido de +0.9°C en mayo a +0.4°C en junio. Por otro lado, el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) continúa positivo, siendo ya 40 meses consecutivos desde enero del 2014 con valores mensuales positivos, el periodo más largo desde al menos el año 1900. Esto es consistente con los pronósticos de Thoma et al. (2015) y Meehl et al. (2016) y los pronósticos de los modelos NMME recientes de que las anomalías cálidas en el Pacífico noreste persistirían, aunque esto ya no es tan claro para el Pacífico sudeste.

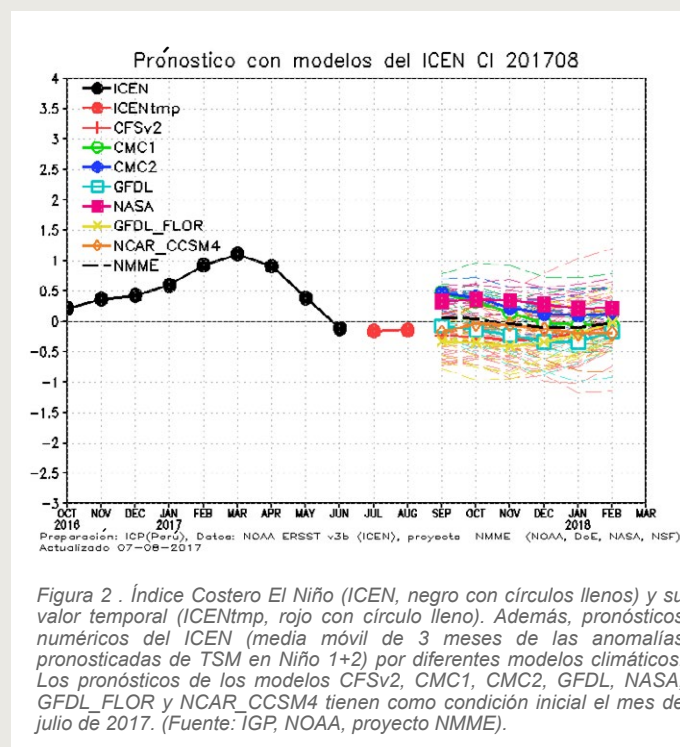
La fase cálida decadal podría favorecer el desarrollo futuro (2017 o después) de El Niño en el Pacífico oriental: la anomalía cálida en el Pacífico SE puede contribuir a calentamiento al sur de Perú. Por otro lado, el calentamiento en el Pacífico central podría reducir las lluvias en los Andes.

Conclusiones

1. El ICEN para mayo de 2017 fue de **0.39 (Neutra)** y el ICENtmp para junio y julio de 2017 es **0.13 y 0.10 (Neutro)**. Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son 0.52 (Cálida Débil), y los temporales 0.23 y 0.07 (Neutro).

2. En el Pacífico central, el ONI de mayo (AMJ) y el estimado para junio correspondieron a condiciones Neutras. La ATSM en la región Niño 3.4, durante junio, ha fluctuado alrededor de los +0.5°C.

3. Según TAO y NCEP/NCAR reanalysis, el viento zonal ecuatorial presentó cerca de lo normal, con ligeras anomalías del oeste alrededor de 130° y del este alrededor de 180°.



4. La actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial en junio, después de un debilitamiento en mayo, volvió a mostrar un patrón parecido al de La Niña, con anomalías secas alrededor de 180° y húmedas en el Pacífico occidental.

5. El contenido de calor oceánico y la inclinación de la termoclina ecuatorial se presentaron con valores alrededor de su normal, aunque la termoclina continúa en promedio anómalamente profunda/somera en el Pacífico oriental/central.

6. Las corrientes zonales en el Pacífico Ecuatorial, durante el mes de junio, mostraron anomalías positivas (corrientes hacia el este) en la parte superior del océano (<60m) entre 120 y 110°W. Esto podría deberse a la presencia de una onda Kelvin cálida durante este mes, según los datos de altimetría (DUACS) y corrientes zonales de OSCAR.

7. La onda Kelvin fría, formada por un pulso de viento en 180° en la quincena de mayo, según la información de la profundidad de la termoclina, habría disminuido en magnitud a un nivel que no habría afectado las anomalías positivas de la misma variable en el extremo oriental.

8. Para las próximas semanas, el modelo CFS predice fluctuaciones alrededor de lo normal, mientras que el GFS predice predominancia de ligeras anomalías de viento del este en el Pacífico ecuatorial.

9. Los resultados de los modelos oceánicos lineales forzado con ASCAT y NCEP muestran actividad de ondas Kelvin cálidas y frías de magnitud poco relevantes para las siguientes semanas y meses.

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2017-6

10. En el mes de junio no se han observado pulsos de viento de una magnitud suficiente para formar una onda Kelvin relevante y que pueda alcanzar la costa americana en las siguientes semanas y/o meses. Los resultados de los modelos oceánicos lineales forzado con ASCAT y NCEP muestran actividad de ondas Kelvin cálidas y frías de magnitud poco relevantes para las siguientes semanas y meses.

11. Según los datos de altimetría satelital, no se observa la presencia de ondas Kelvin cálidas de magnitud relevante, producidas por una aparente reflexión de ondas Rossby cálidas en el extremo occidental, que puedan alcanzar la costa americana.

12. En la actualidad se ha desarrollado un pulso de viento del este al oeste de la línea de cambio de fecha (180°) aunque, por el momento, los modelos lineales no muestran el desarrollo de una Kelvin fría de magnitud importante.

13. En general, los pronósticos de los modelos han reducido sustancialmente la probabilidad de condiciones cálidas tanto costeras como en el Pacífico central ecuatorial.

14. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), Para los meses de **agosto y setiembre, 5 de 7** modelos de NMME indica condiciones **Neutras, 2 modelos** pronostican condiciones **cálidas débiles**; para el mes de **octubre, 6 modelos** indica condiciones **Neutras y 1 modelo** condiciones **cálida débiles**, en contraste con los pronósticos del mes anterior, estos índices son menores y en algunos meses los modelos indican anomalías negativas. En promedio los pronósticos son neutros hasta fin de año.

15. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), para el mes de **agosto, 4 de 7** modelos indican condiciones **Neutras** y 3 modelos indican condiciones cálidas débiles; para el mes de **setiembre, 5 de 7** modelos indican condiciones **Neutras, y 2 de 7** modelos indican condiciones **Cálidas débiles**.

16. El patrón de TSM pronosticado para finales de 2017 e inicios de 2018 tiene el calentamiento tan desplazado al oeste que la convección atmosférica (y los vientos superficiales) se asemeja más a La Niña que a El Niño global. Por otro lado, este patrón se continúa observando desde el año 2016 y la termoclina ecuatorial continúa anómalamente somera/profunda en el Pacífico central/oriental. Además persisten anomalías cálidas en el Pacífico SE, lo cual también es pronosticado por los modelos.

17. Si bien los modelos no pronostican anomalías de TSM en la región costera, las condiciones pronosticadas por los modelos serían favorables para El Niño costero del tipo ocurrido recientemente en el 2017 con lluvias en la costa peruana (Takahashi et al., en preparación). Sin embargo, es muy pronto para poder evaluar esta posibilidad y su intensidad.

18. Los modelos continúan pronosticando anomalías de TSM positivas en el Pacífico noreste (presentes desde el 2014), consistente con los pronósticos de Thoma et al. (2015) y Meehl et al. (2016). El calentamiento en el Pacífico sudeste subtropical observado desde el año 2015 hasta la fecha continúa en los pronósticos de los modelos NMME, aunque más débiles.

19. El calentamiento en el Pacífico noreste podría estar favoreciendo las condiciones cálidas en el Pacífico ecuatorial central-occidental.

20. La fase cálida decadal podría favorecer el desarrollo futuro (2018 o después) de El Niño ("costero" y global) en el Pacífico oriental: las anomalías cálidas en el Pacífico SE podrían contribuir a calentamiento al sur de Perú. Por otro lado, el calentamiento en el Pacífico central podría reducir las lluvias en los Andes.

21. El calentamiento global tiene una señal sustancial de más de +0.6°C desde el inicio de los años 1980s y este calentamiento se está acelerando desde el año 2015, posiblemente por la transición a la fase decadal cálida. Las definiciones basadas en umbrales de índices Niño probablemente se verán afectadas. Una recomendación es trabajar con anomalías a las que se les resta el promedio tropical.

Referencias

Aparco J., K. Mosquera y K. Takahashi, 2014: Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y., Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A., 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report/>].

DiNezio, P., 2016: Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

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.

Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I., 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Climate* 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C., 2014: Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), *Revista Brasileira de Meteorología*, 29 (2), 171-182.

Meehl G, Hu A, Teng H, 2016: Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. *Nature Communications*, doi: 10.1038/ncomms11718.

Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magister en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2010: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. *Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.*

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7.

Reupo, K., y Takahashi, K., 2014: Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.

Takahashi, K., Martínez, A. G., 2016: The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.

Thoma M, Greatbatch R, Kadow C, Gerdes R, 2015: Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. *Geophys. Res. Lett.* doi:10.1002/2015GL064833.

Comunicado Oficial ENFEN



COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO - ENFEN

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 11- 2017 Estado del sistema de alerta: **No Activo**¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de sistema de alerta a "No Activo" debido a que en la actualidad la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la costa del Perú presentan en promedio condiciones normales.

Asimismo, en base al análisis de los pronósticos internacionales y de las observaciones, el ENFEN considera una mayor probabilidad de la continuidad de condiciones neutras en la región Niño 1+2, así como el desarrollo de las mismas en el Pacífico Central, hasta el verano del 2018.

La Comisión encargada 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 junio de 2017.

En la región del Pacífico Central (región Niño 3.4), la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) presentó valores positivos, sobrepasando ligeramente el umbral de +0,5°C correspondiente a condiciones cálidas débiles.

En la región Niño 1+2, que abarca la zona norte del mar peruano, se presentaron valores promedio de TSM entre 18°C y 23°C como se muestra en la Figura 1. La anomalía de la TSM continuó disminuyendo hasta alcanzar en la última semana el valor de -0,3°C. Según la Figura 2, las anomalías diarias oscilaron alrededor de su promedio climatológico.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) continuó fortalecido durante el mes con una anomalía media de +5 hPa en su núcleo. A diferencia del mes anterior, presentó una configuración meridional y desplazado hacia el suroeste de su posición habitual. Su acercamiento hacia la costa sudamericana contribuyó al incremento de vientos de moderada intensidad a lo largo de la franja costera centro y sur de Perú; principalmente.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de mayo fue de +0,52°C (fuente NCEP OI SST v2) que correspondió a condiciones cálidas débiles. Los valores estimados (ICENTmp) para junio y julio corresponden a condiciones neutras.

En promedio, la costa norte y centro presentaron anomalías positivas de la TSM de +0,9°C mostrando valores similares al mes anterior; sin embargo, durante la última semana se observó una tendencia hacia la normalización. En la costa sur, en general, se observó una ligera disminución de las anomalías positivas. Por otro lado, a lo largo de la costa peruana las anomalías positivas

del nivel medio del mar (NMM) continuaron disminuyendo con respecto al mes anterior alcanzando valores alrededor de su normal.

En las estaciones fijas costeras, luego del ascenso de las isotermas desde Paita hasta Atico hasta la primera quincena de junio, se registró una profundización de las mismas desde Paita hasta Callao, generando anomalías positivas de temperatura en la columna de agua. Estas observaciones guardan relación con la intensificación de la Corriente de Cromwell en junio, indicando el paso de una onda Kelvin cálida y su arribo a la costa peruana. Sin embargo, este incremento de la anomalía de temperatura subsuperficial no se reflejó en la temperatura superficial ni en los niveles del mar debido a la intensificación de los vientos costeros.

Las anomalías de las temperaturas extremas del aire a lo largo de la costa peruana han disminuido con respecto al mes anterior, principalmente en la región central. (Ver cuadro 1).

Los caudales de los ríos de la costa del país continuaron presentado una tendencia decreciente durante el mes, hasta alcanzar valores normales propios de la temporada seca. Las reservas hídricas en la costa norte y sur presentaron, en promedio, un 99% y 78% respectivamente, respecto a su capacidad hidráulica, a excepción del embalse Pasto Grande (Moquegua) que se encuentra al 48% de su capacidad.

En las secciones oceanográficas de Paita, Chicama y Callao persistieron anomalías positivas +1°C promedio sobre los 100 m de profundidad. Asimismo se registró la influencia de aguas subtropicales superficiales sobre los 50 m fuera de las 20 mn de la costa frente a Callao. Por otra parte se detectó la intensificación de la Corriente Costera Peruana entre Callao y Paita.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar, mostró en junio una disminución a lo largo de la costa conforme a su estacionalidad.

En la región norte-centro, la anchoveta mantuvo su distribución dentro de las 70 mn de costa y baja actividad desovante del recurso de acuerdo a su patrón histórico, esperando su incremento a partir de julio. Se observó la disminución del número de especies oceánicas frente al litoral.

¹ Definición de estado de Sistema de alerta "No activo": En condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar. (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina "Evento El Niño en la región costera de Perú" o "El Niño costero" al período en el cual el Índice Costero El Niño (ICEN), que es la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, indique "condiciones cálidas" (>+0,4°C) durante al menos tres (3) meses consecutivos (Nota Técnica ENFEN 01-2012).



PERSPECTIVAS

Para las próximas semanas, se espera que los valores absolutos de la TSM continúen disminuyendo acorde a la estacionalidad, con valores alrededor de su normal. Asimismo, el NMM también presentará valores cercanos a sus rangos normales.

Los modelos climáticos de las agencias internacionales pronostican, en promedio, condiciones neutras hasta fin de año, tanto en el Pacífico central como en la región Niño 1+2.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los resultados de los modelos de las agencias internacionales, se considera probable el desarrollo de condiciones neutras en la región Niño 1+2 en lo que resta del año. Asimismo, se prevé la persistencia de las condiciones neutras en el Pacífico Central hasta fin de año.

Dado que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, es decir, durante el verano, el 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 del nivel de incertidumbre que esto implica. Con estas consideraciones, la Comisión Multisectorial ENFEN para el próximo verano (diciembre 2017 - marzo 2018) estima: una mayor probabilidad de condiciones neutras en el Pacífico Oriental (63%) seguidas por las condiciones de El Niño (25%). Para el Pacífico Central, se estiman como más probables las condiciones neutras (50%), y de El Niño (39%).

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones observadas y actualizando mensualmente la estimación de las probabilidades de las magnitudes de El Niño y La Niña en el Pacífico Oriental y en el Pacífico Central para el verano 2018.

Callao, 13 de julio de 2017

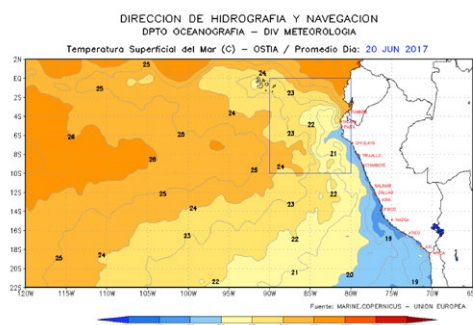


Figura 1. Distribución de la Temperatura superficial del mar (TSM) para el 30 de junio de 2017, de acuerdo al producto OSTIA. Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).

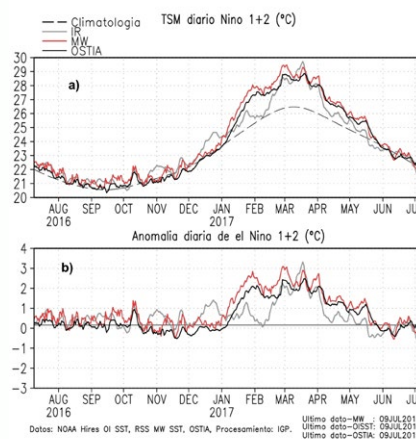


Figura 2. a) Series de tiempo de la TSM diaria en la región Niño 1+2 y en b) Series de tiempo de la anomalía diaria de TSM en la región Niño 1+2. Las líneas en color negro, gris y rojo indican las fuentes de información infrarroja del producto OSTIA, infrarrojo (IR), y microondas (MW), respectivamente. La línea segmentada en la Figura 2a, indica la climatología de la TSM en la región.

Cuadro 1 Anomalia media mensual de las temperaturas extremas del aire (a) máximo y (b) mínimo desde enero a junio 2017 para las regiones costeras norte, centro y sur del litoral peruano. Fuente: SENAMHI

a). Anomalías promedio de temperatura máxima del aire						
Región	ENE RO	FEBRE RO	MARZ O	ABR IL	MAY O	JUNI O
Costa Norte	1,5	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0
Costa Centro	1,9	1,9	2,2	1,5	2,2	1,6
Costa Sur	1,5	1,2	1,0	0,8	1,6	0,9

b). Anomalías promedio de temperatura mínima del aire						
Región	ENE RO	FEBRE RO	MARZ O	ABR IL	MAY O	JUNI O
Costa Norte	0,8	1,1	1,4	1,2	1,3	0,4
Costa Centro	1,8	2,0	2,4	2,0	3,1	1,8
Costa Sur	1,7	0,8	1,0	1,2	1,7	1,4





© 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

 https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:

