

# Proyecto de predicción subestacional a estacional: tendiendo un puente entre el tiempo y el clima



© Slavoljub Pantelic/shutterstock

por Frédéric Vitart<sup>1</sup>, Andrew W. Robertson<sup>2</sup> y David L. T. Anderson<sup>1</sup>

En las últimas décadas se han alcanzado grandes progresos en el desarrollo y las aplicaciones de la predicción del tiempo a medio plazo y la predicción estacional del clima. El proyecto de predicción subestacional a estacional acercará a las comunidades meteorológicas y climáticas para afrontar las escalas de tiempo implicadas, aprovechando la experiencia compartida y complementaria y los conocimientos de predicción, investigación y aplicaciones, en busca de sistemas de predicción del tiempo y del clima que presenten una mayor continuidad e integración.

Desde el punto de vista social, muchas decisiones de gestión en materia de agricultura y seguridad alimentaria, agua, reducción del riesgo de desastres y salud tienen lugar en el rango temporal que va de lo subestacional a lo estacional. Sin embargo, esta escala de tiempos ha sido considerada durante mucho tiempo como un “desierto de predecibilidad”, dado que la predicción en este rango ha recibido menos atención que la de medio plazo y la estacional. Recientemente, la investigación ha permitido detectar importantes fuentes potenciales de predecibilidad en esta escala, a través de una mejor comprensión y representación de fenómenos atmosféricos como la Oscilación de Madden-Julian, los avances en el acoplamiento e inicialización de los sistemas tierra-mar-criosfera y estratosfera, el desarrollo de nuevos modelos, redes observacionales más completas y fiables, técnicas optimizadas de asimilación de datos y un incremento en los recursos computacionales. Se espera que estas mejoras se traduzcan en predicciones más acertadas.

Algunas publicaciones recientes (p. ej. Brunet y otros, 2010) han recalcado la importancia, y la necesidad, de la colaboración entre las comunidades del tiempo y del clima para afrontar mejor problemas comunes críticos, especialmente para avanzar en la predicción subestacional a estacional. En su decimoquinta reunión, en

noviembre de 2009, la Comisión de Ciencias Atmosféricas de la OMM (CCA) solicitó a los Comités científicos mixtos del Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) y del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) y al Comité directivo internacional de participación restringida del THORPEX<sup>3</sup>, que establecieran una adecuada estructura de colaboración para llevar a cabo una iniciativa de investigación internacional en esta materia, y recomendó que estuviera coordinada con los desarrollos futuros del Marco Mundial para los Servicios Climáticos. Este artículo está basado en el Plan<sup>4</sup> de ejecución que se redactó a tal efecto.

## La necesidad de aplicaciones

Los sucesos relacionados con el tiempo y el clima siguen pasando factura en nuestra sociedad, a pesar de la enorme inversión y de los logros obtenidos en la ciencia de la predicción y el pronóstico operativo durante el siglo pasado. Los riesgos relacionados con el tiempo, incluyendo el adelantamiento o retraso de las estaciones lluviosas y eventos recurrentes como sequías y periodos extensos de calor o frío extremos son responsables en gran medida de pérdidas desastrosas. Desde la perspectiva del usuario final, la escala subestacional es importante porque se encuentra entre la aplicación rutinaria y bien establecida de los pronósticos del tiempo en muchos sectores por un lado, y el uso creciente de predicciones estacionales por otro. Muchas decisiones de gestión, como las que se toman en agricultura, caen en la escala de tiempos que va desde las dos semanas a los dos meses, de manera que el desarrollo de predicciones que se extiendan uniformemente desde el tiempo hasta el clima promete alcanzar un considerable valor social y aumentará el número de regiones y situaciones donde los pronósticos permitan actuar. Así pues, esta actividad se considera una contribución significativa del PIMC y del PMIM al Marco Mundial para los Servicios Climáticos.

<sup>1</sup> Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte

<sup>2</sup> Instituto internacional de investigación sobre el clima y la sociedad, Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia, Estados Unidos de América

<sup>3</sup> Experimento de investigación y predecibilidad de los sistemas de observación (THORPEX)

<sup>4</sup> [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Implementation\\_plan\\_V6.4\\_nolineno.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Implementation_plan_V6.4_nolineno.pdf)

El tiempo y el clima abarcan un continuo de escalas temporales y la información de pronósticos con diferentes alcances resulta relevante para diferentes tipos de decisiones y de alertas tempranas. Descendiendo desde la predicción estacional, que puede aportar información para la siembra de una cosecha, una predicción subestacional ayudaría a optimizar la programación de riegos y la aplicación de pesticidas o fertilizantes con beneficios colaterales para el entorno. En situaciones en las que las predicciones estacionales ya se están usando, las subestacionales podrían ser utilizadas como actualizaciones, tal sería el caso de la estimación del fin de la temporada de recogida de cosechas. Ascendiendo desde las aplicaciones de usuario de la predicción numérica del tiempo, hay una oportunidad potencial, por ejemplo, para ampliar el pronóstico de crecidas con modelos hidráulicos de precipitación y escorrentía hacia mayores horizontes de predicción. En el contexto de la ayuda humanitaria y de la preparación frente a desastres, los Centros del clima de la Cruz Roja, del Instituto internacional de investigación sobre el clima y la sociedad (IRI), han propuesto un concepto basado en el *"preparados, listos, ya"* para hacer uso de predicciones que van desde el tiempo meteorológico a la escala estacional. Utiliza pronósticos estacionales para comenzar el seguimiento de las predicciones subestacionales y de corto plazo, actualizar planes de contingencia, entrenar voluntarios y habilitar la alerta temprana (*"preparados"*); las predicciones intramensuales se usan para alertar a los voluntarios y a las comunidades (*"listos"*); los pronósticos del tiempo se emplean después para emitir los avisos, activar a los voluntarios, dar instrucciones a las comunidades y evacuar si fuera necesario (*"ya"*).

El éxito, incluso donde ya se dispone de destreza predictiva, dependerá de forma crucial de la implicación activa de las comunidades del clima y de las aplicaciones y el codesarrollo con los sectores interesados. Las áreas temáticas más importantes incluirán la evaluación de la experiencia pasada y actual, así como la demostración de las aplicaciones con énfasis en la comunicación y la evaluación e incluyendo actividades basadas en las aplicaciones en funcionamiento en los centros operativos.

### **Prioridades de investigación**

La iniciativa de predicción subestacional a estacional dará prioridad a las siguientes actividades de investigación:

- Entender los mecanismos de la predecibilidad subestacional a estacional.
- Evaluar la pericia de los pronósticos subestacionales, incluyendo la identificación de ventanas de oportunidad que permitan incrementar la destreza predictiva, con especial énfasis en los fenómenos meteorológicos asociados de gran impacto.
- Entender la física de los modelos y cómo representan los procesos de interacción relevantes en el sistema Tierra.

- Comparar, verificar y poner a prueba combinaciones multimodelo a partir de las predicciones y cuantificar su incertidumbre.
- Comprender los errores sistemáticos y los sesgos en el rango predictivo subestacional a estacional.
- Desarrollar y evaluar esquemas para integrar los pronósticos subestacional a estacional en aplicaciones.

El pronóstico meteorológico diario es básicamente un problema de condiciones iniciales de la atmósfera aunque pueda haber cierta influencia de las condiciones del suelo y los océanos. La predicción en el rango estacional a interanual, sin embargo, depende fuertemente de componentes que evolucionan lentamente en el sistema Tierra, especialmente la temperatura de la superficie del mar (TSM). En medio de esas dos escalas de tiempo se encuentra la variabilidad subestacional, definida aquí como el rango comprendido entre las dos semanas y los dos meses. La predicción subestacional a estacional se encuentra en una fase relativamente temprana de su desarrollo. Quedan muchas cuestiones por resolver y muchos procedimientos por mejorar antes de que se pueda desplegar todo su potencial. Hay atisbos de predecibilidad más allá del rango de la habitual predicción numérica del tiempo (~10 días), pero aún no se dispone de una buena comprensión de los mecanismos implicados (Hoskins 2012a, b). Las fuentes de la predecibilidad subestacional a estacional provienen de varios procesos atmosféricos, oceánicos y terrestres. Algunos ejemplos son:

- La Oscilación de Madden-Julian: siendo el modo dominante de la variabilidad subestacional en los trópicos, que modula la actividad convectiva organizada, la Oscilación de Madden-Julian tiene un considerable impacto no solo en los trópicos sino también en latitudes medias y altas y se considera una de las mayores fuentes de predecibilidad global en la escala subestacional (p. ej. Waliser, 2011).
- La humedad del suelo: la memoria inercial de la humedad del suelo puede durar varias semanas, lo que puede influir en la atmósfera a través de cambios en la evaporación y en el balance de energía en superficie y puede afectar al pronóstico de la temperatura del aire y la precipitación en determinadas áreas y épocas del año, en escalas de tiempo subestacionales (p. ej. Koster y otros, 2010).
- La capa de nieve: las propiedades térmicas y radiativas de una cubierta nivosa extensa tienen el potencial para modular la variabilidad climática local y remota en escalas que van desde la mensual a la estacional (p. ej. Sobolowski y otros, 2010).
- La interacción estratosfera-troposfera: con frecuencia se observan señales de cambio en el vórtice polar y en el Modo Anular del Norte/Oscilación Ártica (MAN/OA) que proceden de la estratosfera, con flujos

troposféricos anómalos que duran hasta cerca de dos meses (Baldwin y otros, 2003).

- Las condiciones oceánicas: las anomalías en la estructura térmica de las capas superiores del océano modifican el flujo de calor aire-mar y la convección, lo que afecta a la circulación atmosférica. La pericia predictiva de la variabilidad tropical subestacional mejora cuando se usa un modelo acoplado (p. ej. Woolnough y otros, 2007), si bien los modos acoplados de interacción océano-atmósfera, incluyendo la de El Niño-Oscilación del Sur en particular, pueden aportar sustanciales mejoras en la predicción incluso durante el primer mes.

Además de los mencionados anteriormente, los temas relacionados con las teleconexiones, la variabilidad del monzón, las tormentas tropicales, la predicción polar y los hielos oceánicos tienen una gran relevancia en el rango subestacional a estacional y, por ello, el proyecto fomentará el establecimiento de vínculos con las respectivas comunidades investigadoras. Es probable que la destreza predictiva sea mayor en determinadas "ventanas de oportunidad", por ejemplo allí donde interaccionen constructivamente señales fuertes de varios de los procesos citados, pero aún no está claro cómo ocurre esto, cuáles son esas ventanas y de qué manera podrían identificarse.

Desde una perspectiva climática, entre los principales problemas se encuentran la ocurrencia de fenómenos extremos desde las olas de calor hasta los huracanes, cómo afecta la variabilidad estacional a interanual a su probabilidad de ocurrencia y si tales variaciones climáticas son predecibles. Muchos de los fenómenos extremos de gran impacto tienen un marcado carácter meteorológico e subestacional, lo que refuerza la importancia de las escalas subestacionales en la mejora de la comprensión y predicción de eventos extremos en un clima variable y cambiante. Desde una perspectiva social de toma de decisiones se considerará como área de investigación prioritaria evaluar cómo pueden las variaciones subestacionales a estacionales alterar la frecuencia, intensidad y localización de fenómenos de gran impacto.

La naturaleza probabilística del tiempo y del clima, y de los fenómenos extremos en particular, requieren del uso de modelización basada en conjuntos para mejorar la estimación de la probabilidad de eventos de gran impacto. En general, un sistema de predicción por conjuntos (EPS) basado en varios modelos, en lugar de solo en uno, y conocido como sistema multimodelo de predicción por conjuntos (MEPS), proporciona funciones de densidad de probabilidad más útiles que las que se obtienen con un EPS sencillo usando modelos de pericia comparable (p. ej. Hagendorn, 2010). La mayoría de los sistemas actuales de predicción subestacional a estacional están basados en conjuntos de integraciones con acoplamiento océano-atmósfera porque una representación realista de esta interacción probablemente sea importante en ese rango de tiempos. Sin embargo, aún es necesario abordar algunas cuestiones importantes de la modelización:

- ¿Cuál es la forma óptima de inicializar un sistema acoplado océano-atmósfera para obtener una predicción subestacional a estacional satisfactoria?
- ¿Cuál es la configuración del sistema de predicción que mejor representa la incertidumbre de cara a conseguir una predicción subestacional a estacional satisfactoria?
- ¿Qué impacto tiene el incremento de la resolución horizontal o vertical en la atmósfera y el océano?
- ¿Cuáles son las principales fuentes de error sistemático en esta escala de tiempos?
- ¿Qué impacto tiene acoplar la atmósfera a un modelo de océano, suelo y criosfera?
- ¿Cómo es la relación dispersión-pericia en esta escala de tiempos?
- ¿Qué beneficio se obtiene utilizando combinaciones multimodelo?

Las actividades de verificación de la predicción serán esenciales y servirán a varios propósitos incluyendo: (i) proporcionar información y orientación relativa a deficiencias y mejoras asociadas con cambios en los sistemas de predicción subestacional, lo que permitirá realimentar mejoras en el sistema; (ii) evaluar los



Crecida australiana de 2011

© 2011 Erik K. Veland

impactos de los componentes del sistema de predicción subestacional tales como la asimilación de datos de suelo, la capacidad para predecir la Oscilación de Madden-Julian y otros fenómenos subestacionales (p. ej. bloqueos, variaciones en la trayectoria de las borrascas, etc.) y la dependencia de El Niño-Oscilación del Sur; (iii) evaluar las ventajas de utilizar configuraciones de conjuntos multimodelo; y (iv) proporcionar vínculos entre los usuarios y las aplicaciones de predicción (p. ej. dar estimaciones significativas de destreza predictiva para la toma de decisiones).

Las actividades de investigación se centrarán además en el estudio de algunos episodios específicos de fenómenos extremos para demostrar que el uso de predicciones subestacionales puede resultar beneficioso para la sociedad. Los casos de estudio se elegirán por su elevado impacto social y deberían representar áreas importantes de la investigación como, por ejemplo, la ola de calor rusa de 2010, las crecidas en Pakistán en 2010 y en Australia en 2011 o la ola de frío europea de 2012. Un resultado importante de estos proyectos de demostración sería una mayor comprensión de las causas de algunos eventos extremos. Algunas predicciones subestacionales a estacionales recientes se han revelado como prometedoras en la previsión de determinados fenómenos extremos de elevado impacto. Por ejemplo, algunos sistemas de predicción estacional han pronosticado correctamente las altas precipitaciones en el noroeste de Australia durante el verano de 2010-2011 del hemisferio sur (Figura 1). Otro ejemplo es el pronóstico de la ola de calor de Estados Unidos de América en julio de 2012 realizado mediante predicciones de largo plazo (Figura 2). Por lo tanto, resulta oportuno evaluar la capacidad de los modernos sistemas de predicción a largo plazo en lo que se refiere al pronóstico de fenómenos extremos que tienen elevada repercusión social. Esto sería de interés para la comunidad climática porque permitiría una correcta atribución de eventos extremos al calentamiento global o a la variabilidad natural de baja frecuencia y ayudaría a articular una coordinación adicional entre las comunidades del tiempo y del clima.

## Ejecución

En los últimos años, se han puesto en marcha algunos sistemas multimodelo de predicción por conjuntos para el pronóstico de medio plazo y estacional: el Gran conjunto interactivo mundial del THORPEX (TIGGE) para predicciones de hasta dos semanas, el centro de referencia de la OMM para predicciones de largo plazo y el Proyecto de predicción histórica del sistema climático (CHFP) para pronósticos estacionales. Sin embargo, sus bases de datos no fueron diseñadas para estudiar la predicción subestacional. Por lo tanto, un objetivo importante de este proyecto consiste en generar una base de datos de MEPS a partir de predicciones subestacionales operativas actualmente (la mayoría de los Centros mundiales de producción ya realizan predicción operativa subestacional a estacional). La base de datos multimodelo consistirá en conjuntos de predicciones subestacionales (hasta 60

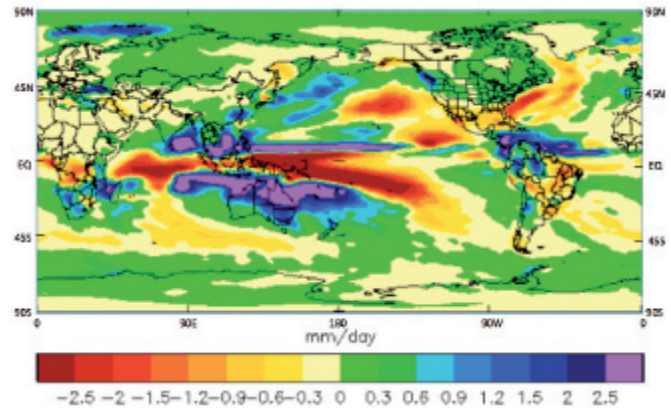


Figura 1 – Predicción estacional de precipitación para diciembre de 2010 y enero y febrero de 2011 emitida por el Servicio Meteorológico de Reino Unido en septiembre de 2010. La región de color púrpura sobre Australia indica un incremento en la precipitación.

días) y seguirá los protocolos TIGGE para aprovechar la infraestructura existente.

La base de datos propuesta proporcionará un potente recurso comunitario para investigar los mecanismos de la predecibilidad subestacional a estacional y para evaluar la destreza y la utilidad de las predicciones subestacionales más avanzadas en aplicaciones. La práctica del pronóstico estacional y el proyecto TIGGE han reconocido que la calibración de la predicción por conjuntos, corrigiendo los sesgos del modelo en la media y la dispersión del conjunto y permitiendo la regionalización, puede complementar a los conjuntos multimodelo, mejorando la fiabilidad estadística y la pericia del pronóstico. A partir de TIGGE se comprobó que la predicción calibrada de un único modelo podía ser tan buena como la de un conjunto multimodelo de modelos sin calibrar, mientras que construir un conjunto multimodelo de predicciones calibradas ha mejorado la destreza global de la predicción estacional (p. ej. Robertson y otros, 2004). En la predicción numérica del tiempo los errores del modelo no suelen ser tan grandes como para hacer necesaria una actualización de la predicción, sin embargo, en los rangos subestacional a estacional resultan demasiado grandes como para ignorarlos. Así pues, se necesita una actualización de las predicciones a lo largo de un considerable número de años para poder calcular el sesgo del modelo, lo que en algunos casos permite evaluar también la destreza.

Un aspecto importante consistirá en promover el uso de estos pronósticos y sus estimaciones de incertidumbre entre la comunidad responsable de las aplicaciones. Un planteamiento científico verdaderamente viable para un amplio espectro de gestores requerirá investigadores interdisciplinarios comprometidos en desarrollar estrategias de gestión de riesgos y herramientas para el establecimiento de servicios climáticos. Los datos exhaustivos de la actualización de las predicciones multimodelo podrán usarse para construir modelos estadísticos que permitan elaborar previsiones climáticas para su uso en sectores específicos. Sin embargo,

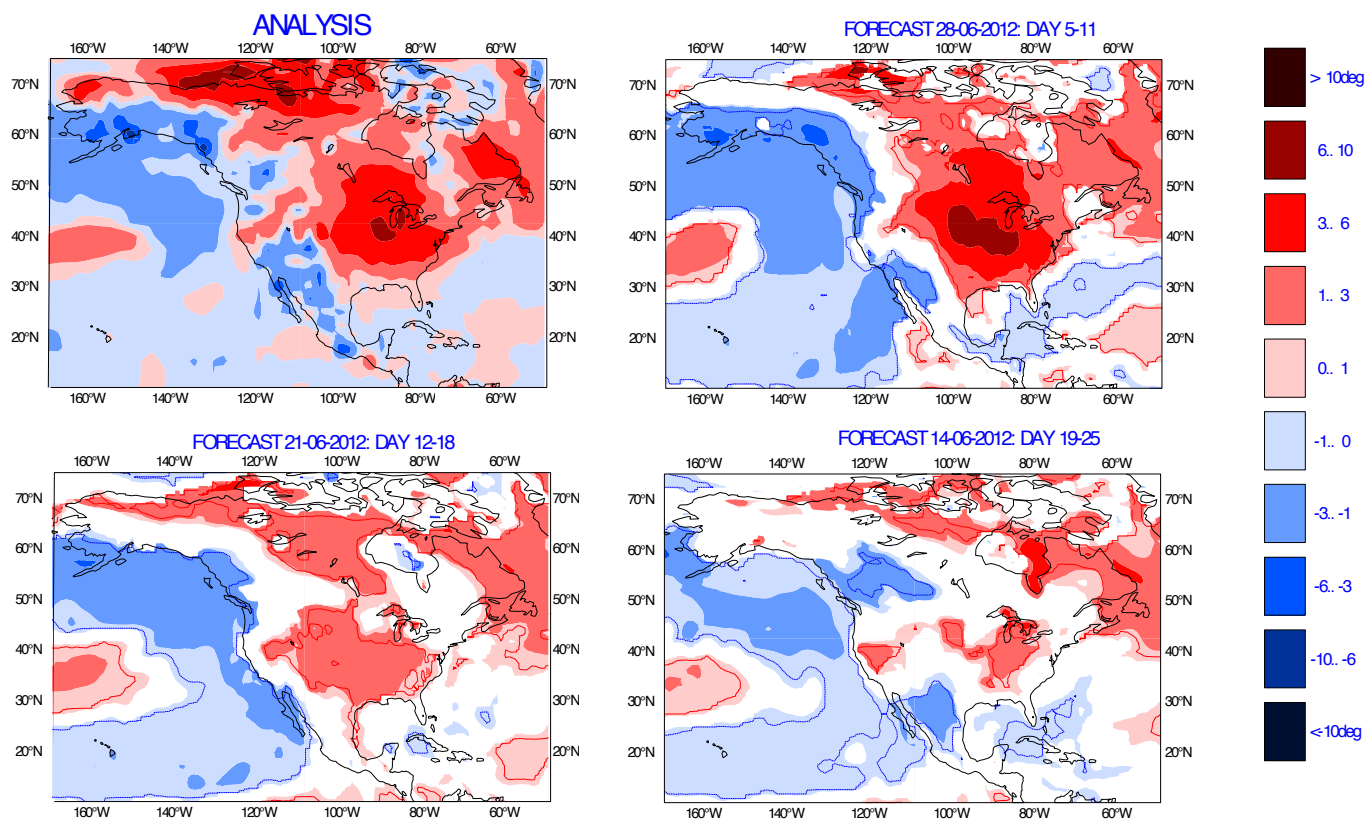


Figura 2 – Anomalías de temperatura a 2 metros promediadas en la semana del 2 al 8 de julio de 2012 y relativas a la climatología de los últimos 18 años. El panel superior izquierdo muestra el análisis del Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo (CEPMMP). El resto de paneles muestra la predicción de anomalía de temperatura a 2 metros del sistema de predicción por conjuntos del CEPMMP comenzando el 28 de junio (panel superior derecho), el 21 de junio (panel inferior izquierdo) y 14 de junio de 2012 (panel inferior derecho) y verificándose en la misma semana que el análisis del panel superior izquierdo. Por lo tanto, los rangos de tiempo de las predicciones son respectivamente: días 5-11, días 12-18 y días 19-25.

el hecho de que algunas de estas actualizaciones se realice sobre la marcha e incluya solamente un número limitado de años podría representar un problema en determinadas aplicaciones.

Con objeto de captar un máximo número de aplicaciones y usuarios de la base de datos sería deseable publicar las predicciones tan próximas como sea posible al tiempo real. Sin embargo, esto entra en conflicto con la política de datos de algunos centros operativos. Se propone, por tanto, comenzar con una fecha de publicación de solo algunas semanas de retraso. No obstante, para algunos proyectos de demostración, puede que sea posible permitir el acceso en tiempo casi real durante un periodo limitado a las comunidades investigadoras y de desarrollo de aplicaciones, posiblemente incluyendo un conjunto de variables más extenso y con mayor resolución.

Un acceso abierto a los datos de predicción y la existencia de bases de datos amigables son dos requisitos importantes para lograr una buena aceptación en la comunidad. La base de datos respaldará la investigación que permita configurar el desarrollo de productos operativos proporcionados por los Centros mundiales de producción de la OMM, coordinados por la Comisión de Sistemas Básicos (CBS). Los proyectos de demostración

aportarán un importante mecanismo para promover el uso de la predicción subestacional entre los usuarios de aplicaciones y para fomentar relaciones con otros socios, proporcionando objetivos específicos comunes. En el plan de ejecución puede consultarse más información sobre la base de datos propuesta.

## Vínculos

El rango predictivo subestacional a estacional se encuentra entre los cometidos del Marco Mundial para los Servicios Climáticos y el resultado de este proyecto pretende aportar una importante contribución a su primera fase (a corto plazo). Se establecerán igualmente vínculos y colaboraciones con otros grupos de trabajo de la OMM.

A través de su intersección con la gestión del riesgo de desastres, la seguridad alimentaria y los mercados, la escala subestacional resulta de enorme relevancia para agencias de desarrollo como el Banco mundial, el Organismo de Estados Unidos para el desarrollo internacional (USAID), el Departamento británico para el desarrollo internacional, y organizaciones para la seguridad alimentaria como el Programa Mundial de Alimentos y el Grupo consultivo sobre investigación agrícola internacional del Programa de Cambio Climático,

Agricultura y Seguridad Alimentaria. Los pronósticos mejorados de fenómenos extremos en esta escala tienen el potencial de mitigar desastres y aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a los impactos del clima, ayudándolas a adaptarse al cambio climático. El flujo bidireccional de información entre las organizaciones de desarrollo/seguridad alimentaria y la comunidad climática será crucial para la creación de servicios climatológicos útiles a través del Marco Mundial para los Servicios Climáticos.

## Utilidad para la sociedad

La predicción subestacional no ha recibido tanta atención como el pronóstico del tiempo o la predicción estacional porque se consideraba que abarcaba un rango de tiempos difícil y que no estaba tan bien definida como la estacional o la meteorológica. Sin embargo, hay razones para pensar que es posible realizar predicciones en esta escala que serían muy útiles para la sociedad.

Para lograr el éxito será necesaria una considerable mejora en el conocimiento científico de las fuentes de predecibilidad, conjuntamente con el desarrollo de modelos mejorados de alta resolución con acoplamiento atmósfera-océano-hielo, mejores estrategias de inicialización del sistema acoplado y una correcta representación de fenómenos atmosféricos de larga duración como la Oscilación de Madden-Julian. Varios centros meteorológicos operativos están realizando, o planeando realizar, predicciones en el rango subestacional y algunos modelos climáticos podrían además ser forzados a operar a esa escala de tiempos, dando la oportunidad de comparar las predicciones de ambos modelos, comprender qué procesos son sólidos y cuáles no, así como desarrollar estrategias para combinar varios pronósticos.

Este enfoque podría incluir predicciones multimodelo, aunque son posibles otros planteamientos. Tales análisis rigurosos y las evaluaciones de la predicción ofrecerán una mayor confianza a los usuarios de la información para decisiones relacionadas con la agricultura y la producción de alimentos, gestión de recursos hídricos, energía y transporte, etc. El establecimiento de un mecanismo de realimentación eficiente que permita a los usuarios informar sobre la idoneidad y eficacia de los datos resultantes permitirá enfocar la mejora de las predicciones en base a la perspectiva de los usuarios.

## Referencias

- Baldwin, M. P., D. B. Stephenson, D. W. J. Thompson, T. J. Dunkerton, A. J. Charlton, A. O'Neill, 2003: Stratospheric memory and extended-range weather forecasts, *Science*, 301, 636-640.
- Brunet, G., M. Shapiro, D. Hoskins, M. Moncrieff, R. Dole, G. N. Kiladis, B. Kirtman, A. Lorenc, B. Mills, R. Morss, S. Polavarapu, D. Rogers, J. Schaake y J. Shukla, 2010: Collaboration of the weather and climate communities to advance subseasonal to seasonal prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1397-1406.
- Hagedorn, R., 2010: On the relative benefits of TIGGE multi-model forecasts and reforecasts and reforecast-calibrated EPS forecasts. *ECMWF Newsletter*, 124, 23.
- Hoskins, B., 2012a: Predecibilidad más allá del límite determinista. *Boletín de la OMM*, 61(1), 33-36.
- Hoskins, B. J., 2012b: The potential for skill across the range of the seamless weather-climate prediction problem: a stimulus for our science. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* DOI:10.1002/qj.1991.
- Koster, R. D. y otros 23 autores, 2010: Contribution of land surface initialization to subseasonal forecast skill: First results from a multi-model experiment. *Geophysical Research Letters*, 37, L02402, 10.1029/2009GL041677.
- Robertson, A. W., U. Lall, S. E. Zebiak y L. Goddard, 2004: Optimal Combination of Multiple Atmospheric GCM Ensembles for Seasonal Prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2732-2744.
- Sobolowski, Stefan, Gavin Gong, Mingfang Ting, 2010: Modeled Climate State and Dynamic Responses to Anomalous North American Snow Cover. *J. Climate*, 23, 785-799.
- Waliser, D. E., 2011: *Predictability and Forecasting. Intraseasonal Variability of the Atmosphere-Ocean Climate System*, W. K. M. Lau y D. E. Waliser, Eds., Springer, Heidelberg, Alemania, Segunda edición. ISBN 978-3-642-13913-0, DOI 10.1007/978-3-642-13914-7.
- Woolnough, S. J., F. Vitart y M. A. Balmaseda, 2007: The role of the ocean in the Madden-Julian Oscillation: Implications for the MJO prediction. *Quart. J. Meteor. Soc.*, 133, 117-128.