

# Pronósticos subestacionales a estacionales: hacia una predicción sin discontinuidad

por **Frederic Vitart y Andy Brown**, Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio

Históricamente siempre ha existido una clara división entre la predicción meteorológica y la predicción del clima a pesar de que, en ambos casos, se utilizan técnicas numéricas semejantes. La predicción meteorológica, que esencialmente es un problema de condiciones iniciales de la atmósfera, hace referencia al pronóstico de los patrones meteorológicos diarios con una antelación de entre unas pocas horas hasta cerca de dos semanas. La predicción del clima, que es un problema de condiciones de contorno, hace referencia a la predicción de las fluctuaciones del clima promediadas a lo largo de una estación o de un período de tiempo más largo. Esta diferencia entre las escalas de tiempo de las predicciones meteorológicas y climáticas ha provocado la división entre las comunidades que investigan en cada uno de esos dos campos. Sin embargo, se empieza a producir en la actualidad una convergencia entre ambos, estimulada por la creciente toma de conciencia de que el tiempo y el clima evolucionan en un continuo de escalas temporales y espaciales.

Los fenómenos coherentes en un conjunto de escalas dentro de ese continuo conducen a la predictibilidad en intervalos de tiempo que van desde el inferior a un día, hasta semanas, meses, años, décadas y que pueden ser aún más extensos (Hoskins, 2012). El intervalo de tiempo que se extiende entre las escalas subestacional y estacional (S2S) –y que se corresponde con predicciones que van más allá de las dos semanas y que no superan la estación– llena ese vacío entre los pronósticos del tiempo y los del clima y representa un componente central para la predicción “sin discontinuidad” del tiempo y el clima. Ese enfoque aprovecha el carácter común de las técnicas, así como la continuidad de las escalas, para, en su límite, tratar de utilizar un único sistema de modelización con el que hacer predicciones que vayan desde las escalas meteorológicas hasta las estacionales o hasta escalas climáticas más extensas (Brunet y otros, 2010).

## Avances en el desierto de la predictibilidad

A menudo, S2S se considera un intervalo temporal complicado para la predicción del tiempo. Es demasiado largo para conservar la memoria de las condiciones iniciales de la atmósfera y, a la vez, demasiado corto para que los cambios en las condiciones de contorno de la atmósfera (como la temperatura de la superficie del mar) se sientan con suficiente fuerza, lo que hace difícil vencer la persistencia. Los primeros intentos (Molteni y otros, 1986) fracasaron a la hora de producir pronósticos de largo alcance que mejoraran significativamente los meramente persistentes que procedían de las predicciones operativas a medio plazo. Durante mucho tiempo, esos resultados decepcionantes reforzaron la idea de que la escala de tiempo S2S era una especie de “desierto de la predictibilidad”.

El interés en el intervalo de tiempo S2S ha renacido durante la última década gracias al descubrimiento de fuentes de predictibilidad en los procesos atmosféricos, oceánicos y terrestres que todavía no se han comprendido plenamente. Esas fuentes incluyen la oscilación Madden-Julian en los trópicos, la interacción estratosfera-troposfera, la humedad del suelo, las cubiertas de nieve y de hielo marino y la temperatura de la superficie del mar.

A principios de los años 2000, solo el Servicio Meteorológico del Japón y el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPM) elaboraban predicciones operativas de alcance subestacional. En la actualidad, al menos diez centros operativos y la mayoría de los Centros Mundiales de Producción de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) generan de manera rutinaria pronósticos de alcance S2S. Esos pronósticos representan una gran oportunidad para ayudar a la sociedad anticipando riesgos meteorológicos extremos con la idea de asegurar la toma de decisiones.

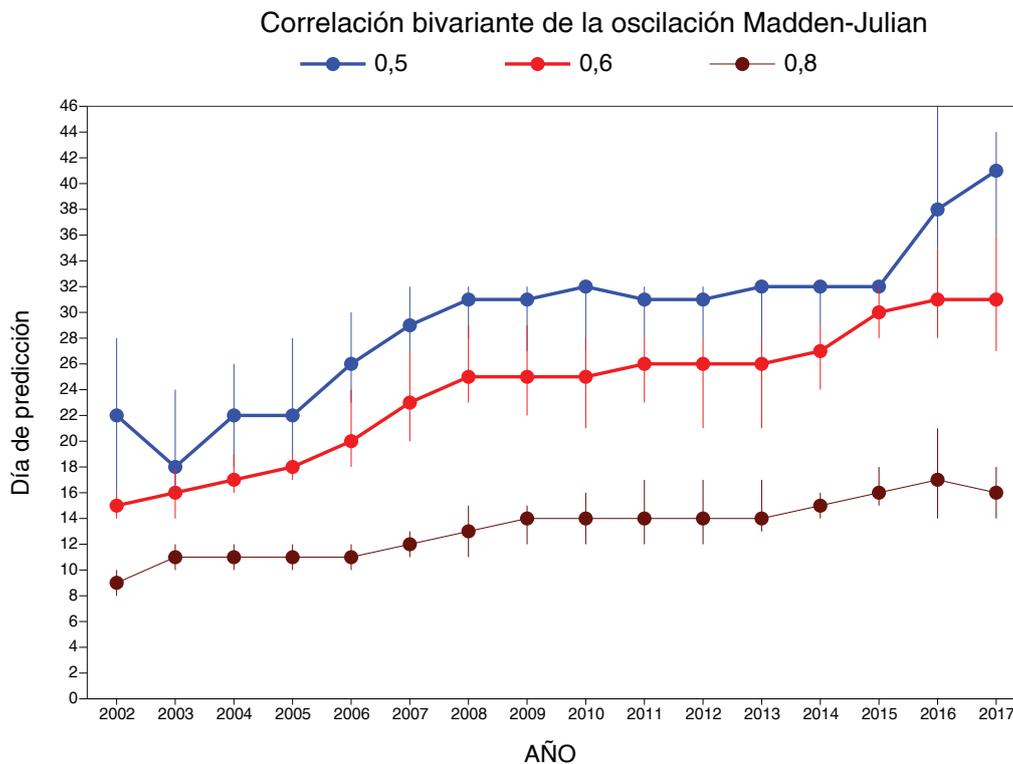


Figura 1. Evolución de los índices de acierto para la oscilación Madden-Julian desde 2002. Los índices de acierto se han calculado sobre la media de las retropredicciones del CEPMPM producidas durante un año completo. Las líneas azul, roja y marrón indican, respectivamente, el alcance de la predicción en días para el que la correlación bivalente de la citada oscilación toma los valores 0,5, 0,6 y 0,8. Esta gráfica muestra que los pronósticos de la oscilación Madden-Julian son significativamente más acertados ahora que hace 15 años (en 2017 la correlación 0,6 se alcanza el día 30 en lugar de alcanzarse el día 15, como ocurría en 2002).

Se han hecho grandes progresos en algunos aspectos de las predicciones. Por ejemplo, los modelos numéricos han mostrado mejoras notables en los índices de acierto de los pronósticos de la oscilación Madden-Julian a lo largo de los últimos años (véase la figura 1). Pero aún quedan retos importantes por delante para elaborar previsiones subestacionales con la fiabilidad necesaria para algunas aplicaciones.

## Convergencia de modelos

Como ya se ha señalado, los modelos de predicción numérica del clima y del tiempo (PNT) se basan en el mismo conjunto de versiones numéricas de las ecuaciones primitivas. Sin embargo, los modelos climáticos suelen incluir componentes adicionales del sistema Tierra para representar procesos que son importantes en escalas de tiempo más largas. Entre tales componentes se cuentan el océano, la criosfera, una representación más completa de la superficie terrestre, y la química

de la atmósfera (aerosoles, ozono, gases de efecto invernadero, etc.). Por lo general, se supone que la evolución temporal de esos componentes es demasiado lenta como para tener un impacto significativo en los pronósticos meteorológicos a escala mundial con alcances de pocos días.

A pesar de la complejidad adicional de los modelos climáticos, esta se ha visto equilibrada por un aumento de la resolución en la predicción meteorológica y una mayor complejidad en la formulación de las condiciones iniciales.

Sin embargo, las diferencias tradicionales entre modelos meteorológicos y climáticos se hacen cada vez más imprecisas, situándose las predicciones de alcance S2S en el centro de esa convergencia. Este proceso viene impulsado por el interés de la comunidad meteorológica en usar modelos más complejos que incluyan componentes adicionales del sistema Tierra para extender el límite de su capacidad predictiva.

Recíprocamente, con un clima en proceso de cambio, la comunidad climática está cada vez más interesada en el problema de las condiciones iniciales de la atmósfera y en las estadísticas del tiempo. Existe también una creciente tendencia a probar modelos climáticos en configuración meteorológica con el fin de identificar errores sistemáticos y mejorar la predictibilidad de las situaciones meteorológicas. Ese es, por ejemplo, el objetivo del Proyecto Transpose de Intercomparación de Modelos Atmosféricos de la OMM, en el que los modelos climáticos se utilizan de manera experimental para la predicción del tiempo. También se han llevado a cabo esfuerzos para integrar modelos de predicción del tiempo en modo clima con la finalidad de estudiar la evolución de los errores sistemáticos asociados a la lenta variación de las condiciones de contorno (Hazeleger y otros, 2010).

Desde el punto de vista físico, no hay razones fundamentales por las que los modelos meteorológicos y climáticos deban ser diferentes, y algunos centros operativos, como el Servicio Meteorológico del Reino Unido, ya utilizan el mismo modelo atmosférico<sup>1</sup> para la predicción del tiempo y para la del clima. Esa evolución hacia una predicción sin discontinuidad favorece la predicción subestacional, en la que la predictibilidad procede tanto de las condiciones iniciales como de las condiciones de contorno.

## El modelo del CEPMPM

El CEPMPM es un ejemplo más de la tendencia hacia la predicción sin discontinuidad a lo largo de las escalas temporales. Cuando en 2004 las predicciones subestacionales pasaron a ser operativas en el CEPMPM, se elaboraban a partir de un sistema de predicción diferente, tanto del utilizado para las predicciones a medio plazo (alta resolución, atmósfera únicamente), como del utilizado para las predicciones estacionales (baja resolución, océano-atmósfera acoplados). En aquel momento, el sistema de predicción de largo plazo compartía características con los otros dos sistemas (resolución intermedia, océano-atmósfera acoplados). En 2008, las predicciones de medio y largo plazo se transformaron en un sistema único en el que, dos veces por semana, la predicción de plazo medio se prolongaba hasta los 32 días para dar lugar al pronóstico de largo

plazo. Este fue un primer paso hacia un sistema de predicción sin discontinuidad en el CEPMPM.

En la época de esa unificación, el océano y la atmósfera se acoplaban solo a partir del décimo día de estar forzando la atmósfera con anomalías de la temperatura de la superficie del mar. Sin embargo, en 2013, el acoplamiento ya empezaba desde el día cero en el sistema de predicción por conjuntos del CEPMPM (Janssen y otros, 2013).

Un motivo importante para aplicar este cambio fue la predicción de alcance S2S. En particular, el papel que juega el acoplamiento océano-atmósfera en la predicción de la oscilación Madden-Julian. Resultó que este tipo de acoplamiento también benefició a la predicción de plazo medio, en particular en lo referido al pronóstico de la intensidad de los ciclones tropicales y, desde 2017, el sistema determinista de alta resolución de plazo medio incluye acoplamiento con el océano. El sistema de predicción por conjuntos de medio y largo plazo y el sistema de predicción estacional también han ido convergiendo desde la implementación del último sistema de predicción estacional (SEAS5), siendo actualmente la física del modelo muy similar (aunque no idéntica todavía) en todos los sistemas.

El intervalo de tiempo que se extiende entre el alcance subestacional y el estacional, al igual que otros intervalos de tiempo, también puede beneficiarse de una mayor sofisticación en la modelización del sistema Tierra. Ese aumento de la sofisticación puede favorecer el desarrollo de nuevos productos directamente a partir de las integraciones del modelo y proporcionar información de retorno sobre la predicción del tiempo que ayude a producir predicciones de alcance S2S más acertadas. Por ejemplo, en el CEPMPM se ha acoplado un modelo de olas a los componentes oceánico y atmosférico del sistema de predicción en lugar de mantener el enfoque más tradicional de ejecutar por separado un modelo de olas forzado *a posteriori* con los campos atmosféricos generados por las predicciones de alcance S2S. Esta completa integración del modelo de olas en el sistema de predicción del CEPMPM mejora el pronóstico de los vientos en niveles bajos y permite una generación más homogénea de productos de predicción. En el futuro, otros componentes, como la composición atmosférica o la hidrología, podrían formar parte, a su vez, de un sistema de predicción aún más homogéneo y sin discontinuidad.

1 El modelo unificado ([www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model](http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model))

### Ciclón tropical Yasi, 26 de enero a 4 de febrero de 2011

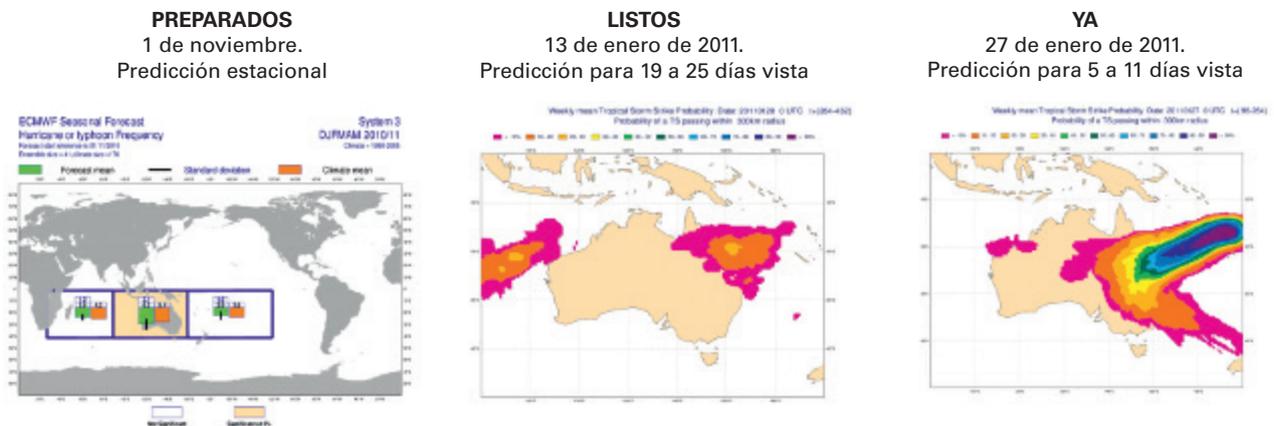


Figura 2. Predicción de ciclones tropicales en diferentes intervalos de tiempo procedente de los sistemas de predicción estacional y por conjuntos del CEPMPM. El panel de la izquierda muestra una predicción estacional que arranca el 1 de noviembre de 2010 y que presenta la frecuencia de huracanes durante el período que va de diciembre de 2010 a mayo de 2011. Las barras verdes representan la frecuencia prevista de ciclones con intensidad de huracán en comparación con la climatología observada (naranja). Las barras negras delimitan el nivel de confianza del 5 %. El panel central muestra, para cada punto del mapa, la probabilidad de paso de un ciclón tropical en un radio de 300 kilómetros entre los días 19 y 25 de alcance de la predicción de largo plazo del CEPMPM que arrancó el 13 de enero de 2011. Y el panel derecho, las probabilidades de paso entre los días 5 y 11 de alcance de la predicción de plazo medio del CEPMPM que arrancó el 27 de enero de 2011

## Fundamentar la toma de decisiones

La predicción de alcance S2S representa una gran oportunidad para ayudar a las instancias decisorias con pronósticos cualificados de riesgos meteorológicos extremos. El tiempo y el clima abarcan un continuo de escalas temporales, y la información ligada a la predicción notificada con distinta anticipación es relevante para diferentes tipos de decisiones y alertas tempranas.

Retrocediendo desde la escala más grande, una predicción estacional podría orientar en la elección de una especie determinada de cultivo, mientras que las predicciones de alcance submensual podrían ayudar a la programación del sistema de riego y de la aplicación de plaguicidas y fertilizantes, haciendo que el calendario de las labores agrícolas dependiera de la predicción de alcance S2S y, por lo tanto, fuera dinámico en el tiempo. En aquellas situaciones en las que ya se emplean predicciones estacionales, las subestacionales podrían utilizarse como actualizaciones, para estimar, por ejemplo, los rendimientos de los cultivos al final de la temporada. Las predicciones subestacionales pueden desempeñar un papel especialmente importante cuando las condiciones iniciales y la oscilación dentro de una estación producen una fuerte predictibilidad subestacional aun cuando la predictibilidad estacional pueda

permanecer baja, como ocurre en el caso de los monzones de verano de la India.

Avanzando en las escalas de tiempo desde las habituales de la PNT, práctica que está mucho más madura, existe la oportunidad potencial de extender hasta mayores alcances el pronóstico de crecidas con modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía. En los ámbitos de la ayuda humanitaria y de la preparación para casos de desastre, el Centro del Clima de la Cruz Roja y el Instituto Internacional de Investigación sobre el Clima y la Sociedad (IRI) han propuesto el concepto de “preparados, listos, ya” para emplear las predicciones desde un nivel de tiempo meteorológico hasta un nivel de estación:

- Las predicciones estacionales se utilizan para empezar a analizar los pronósticos subestacionales y de corto alcance, actualizar los planes de contingencia, formar a los voluntarios y preparar los sistemas de alerta temprana (“preparados”).
- Las predicciones submensuales se utilizan para alertar a los voluntarios y advertir a las comunidades (“listos”).
- Los pronósticos del tiempo se utilizan para activar a los voluntarios, transmitir instrucciones a las comunidades y evacuar si es necesario (“ya”).

La figura 2 muestra un ejemplo del paradigma del “preparados, listos, ya” para la predicción del ciclón tropical Yasi, que tocó tierra en el norte de Queensland (Australia), el 3 de febrero de 2011 como un ciclón severo de categoría 5 causando daños importantes en las áreas afectadas. Este paradigma podría ser útil en otros sectores como medio para enmarcar la contribución de las predicciones subestacionales al desarrollo de los servicios climáticos en el seno del Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC).

## Proyecto de investigación de la Organización Meteorológica Mundial

Sobre la base del potencial y de la demanda de una mejor capacidad de predicción en el intervalo de tiempo que se extiende entre la subestación y la estación, y para salvar la brecha entre el tiempo y el clima, el Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) han establecido conjuntamente un proyecto de investigación S2S. Su principal objetivo es mejorar la capacidad de predicción y la comprensión en la escala temporal S2S y promover su adopción por parte de los centros operativos y la explotación de sus aplicaciones (Vitart y otros, 2012).

Para alcanzar muchos de esos objetivos se está creando una amplia base de datos que contiene predicciones y retropredicciones (también llamadas reanálisis) subestacionales (hasta 60 días de alcance), inspirada en parte en la base de datos de predicciones de plazo medio (hasta 15 días de alcance) del Gran Conjunto Interactivo Mundial del THORPEX (TIGGE) y en el Proyecto de Predicción Histórica del Sistema Climático (CHFP) de predicciones estacionales. Las actividades de investigación del proyecto se están organizando en torno a una serie de subproyectos, entre ellos Océano, Tierra y Aerosoles (véase [s2sprediction.net](http://s2sprediction.net) para más detalles).

Se espera que esos subproyectos, junto con la base de datos de S2S, sean un instrumento que propicie una amplia participación de la comunidad de investigadores en S2S y ayuden a promover el uso de predicciones en el intervalo de alcances subestacional a estacional, así como a responder algunas de las importantes cuestiones científicas acerca de la predicción sin discontinuidad. La OMM es un motor importante en esa

investigación, que exige un enfoque que englobe todo el sistema Tierra.

## Referencias

NAS, 2016: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Next Generation Earth System Prediction: Strategies for Subseasonal to Seasonal Forecasts. Washington, DC: The National Academies Press. Doi: 10.17226/21873.

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.

Hazeleger, W., X. Wang, C. Severijns, S. Stefanescu, S. Yang, X. Wang, K. Wyser, E. Dutra, J. M. Baldasano, R. Bintanja, P. Bougeault, R. Caballero, A. M. L. Ekman, J. H. Christensen, B. van den Hurk, P. Jiménez, C. Jones, P. Kallberg, T. Koenigk, R. McGrath, P. Miranda, T. van Noije, T. Palmer, J. A. Parodi, T. Schmith, F. Selten, T. Storelvmo, A. Sterl, H. Tapamo, M. Vancoppenolle, P. Viterbo y U. Willen, 2010: EC-Earth: A seamless Earth system prediction approach in action. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 91, 1357-1363.

Janssen, P., O. Breivik, K. Mogensen, F. Vitart, M. Balmaseda, J. Bidlot, S. Keeley, M. Leutbecher, L. Magnusson y F. Molteni, 2013: Air-sea interaction and surface waves. ECMWF technical memorandum, 712, 36 pp. <http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2013/10238-air-sea-interaction-and-surface-waves.pdf>

Molteni, F., U. Cubasch y S. Tibaldi, 1986: 30- and 60-day forecast experiments with the ECMWF spectral models. Proc. ECMWF Workshop on Predictability in the Medium and Extended Range, Reading, United Kingdom, ECMWF, 51-107.

Vitart, F., A. W. Robertson y D. L. T. Anderson, 2012: Proyecto de predicción subestacional a estacional: tendiendo un puente entre el tiempo y el clima. *Boletín de la OMM*, 61(2), 23-28.