

# Innovación en la predicción hidrológica mundial mediante el enfoque del sistema Tierra

por Shaun Harrigan<sup>1</sup>, Hannah Cloke<sup>2,3</sup> y Florian Pappenberger<sup>1</sup>

El cambio climático, el aumento de la población y la intervención humana en los cauces y cuencas fluviales hacen que el suministro de información fiable sobre el estado actual y futuro del agua en los ríos de todo el mundo sea un reto cada vez mayor. Sin embargo, la sociedad necesita urgentemente información puntual y fiable para las alertas tempranas de crecidas y sequías, que todavía hoy causan sorpresa y devastación en comunidades enteras. El progreso científico debe acelerarse para afrontar este desafío. Este artículo defiende que un planteamiento de la predicción hidrológica mundial contemplando a la Tierra como sistema estimulará la innovación y fortalecerá la colaboración interdisciplinaria necesaria para lograr un progreso científico significativo.

## Predicción hidrológica clásica

La predicción hidrológica posee un rico pasado. Sus principios básicos fueron ya bien asentados hace unos 50 años (Nash y Sutcliffe, 1970). Pero desde entonces, a pesar de realizarse una inversión significativa, el progreso ha sido lento y todavía existen grandes limitaciones científicas, a nivel operativo y en el conjunto de datos.

La falta de observaciones de caudal de los ríos en todo el mundo supone un obstáculo importante para los sistemas de predicción hidrológica (Lavers y otros, 2019). Además, los enfoques de predicción clásicos tienen una capacidad limitada para explotar todo el conjunto de

observaciones disponibles y previstas del sistema Tierra (nieve, humedad del suelo, evapotranspiración, reservas de agua subterránea y caudales fluviales) especialmente con la proliferación de sistemas de observación remota. Por otro lado, los modelos tradicionales intentan extrapolar predicciones de extremos fuera de los rangos para los cuales han sido calibrados. Este problema se intensifica a medida que las cuencas y sus cursos fluviales varían a lo largo del tiempo como respuesta a los cambios del clima y del uso del suelo. Dada la complejidad y escala del problema, resulta pertinente preguntarse si otra visión más interdisciplinaria aceleraría el progreso científico.

## Ventajas del enfoque del sistema Tierra

El enfoque del sistema Tierra, base de la estrategia 2016-2025 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF) y de la reforma de gobierno de la OMM que se está llevando a cabo actualmente, modeliza la Tierra como un conjunto. Esto incluye interacciones entre la atmósfera, los océanos y el suelo así como la biosfera y la actividad humana. Esta perspectiva es necesariamente interdisciplinaria, abarcando muchos campos de la ciencia y exigiendo una colaboración más cercana.

El uso de la modelización del sistema Tierra en la predicción hidrológica a escala global tiene muchas ventajas. Al permitir las interacciones entre todos los componentes del sistema Tierra, se obtienen predicciones mejores y con mayor coherencia entre las variables. Por ejemplo, un balance hídrico correcto<sup>4</sup> no solo proporcionaría las condiciones óptimas de la superficie que gobiernan las variables del tiempo en superficie; sino también una mejor modelización del flujo de agua dulce

1 Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF), Reading (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)

2 Universidad de Reading, Reading (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)

3 Universidad de Uppsala, Uppsala (Suecia)

4 El balance hídrico es la relación entre los flujos de entrada y salida del agua



Figura 1. El enfoque del sistema Tierra es fundamental en la Estrategia 2016-2025 del ECMWF

en el océano que, por otro lado, mejoraría la predicción atmosférica y que, a su vez, tendría un impacto positivo en la hidrología. Esta coherencia física y técnica proporciona la base de una predicción sin continuidad con plazos desde el más corto al estacional sin la necesidad de distinguir entre sistemas de crecidas y sequía, como ocurre actualmente [por ejemplo, el Sistema mundial de concienciación sobre inundaciones (GloFAS; Alfieri y otros, 2013) y el GloFAS estacional (Emerton y otros, 2018)].

Los servicios de predicción hidrológica a gran escala deben ser sostenibles en términos de recursos y especialización científica, técnica y computacional. Los centros de predicción numérica del tiempo (PNT) operativa ya se han adherido al enfoque del sistema Tierra; por ello, la ejecución de predicciones hidrológicas en los centros de PNT permite un acceso a los recursos y el conocimiento especializado hasta ahora nunca visto, incluyendo avances en las observaciones del sistema Tierra y en la asimilación de datos, computación de alto rendimiento y "en nube"; suministro de predicciones operativas las 24 horas del día, y colaboración en nuevos desarrollos en áreas tales como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático a escala. Juntos promueven la colaboración y la innovación, y suponen un ahorro significativo.

## Enfoque del ECMWF del sistema Tierra

El modelo integral del sistema terrestre del ECMWF, conocido como Sistema de predicción integrada, constituye la base para todas las actividades de asimilación de datos y predicción. El avance en la modelización de las interacciones entre los componentes del sistema Tierra constituye el núcleo central de la Estrategia 2016-2025 del ECMWF (figura 1).

La idea del ECMWF es utilizar el enfoque del sistema Tierra para llevar la predicción hidrológica hasta el nivel siguiente. Uno de los retos científicos más importantes (Zsoter y otros, 2019) sigue siendo el cierre del balance hídrico<sup>5</sup> en los modelos operativos. Como ya se ha mencionado anteriormente, la mejora de la representación hidrológica beneficiaría a la predicción de otros componentes atmosféricos y oceánicos interconectados. Pero no será una tarea fácil pues requerirá una mayor colaboración entre los científicos de muchas disciplinas. Todavía quedan muchas cuestiones científicas abiertas y hay demasiadas barreras en lo relativo a la disponibilidad de datos hidrológicos. Sin embargo, el uso de la

5 El cierre del balance hídrico supondría medir todos los flujos entrantes y salientes de agua.

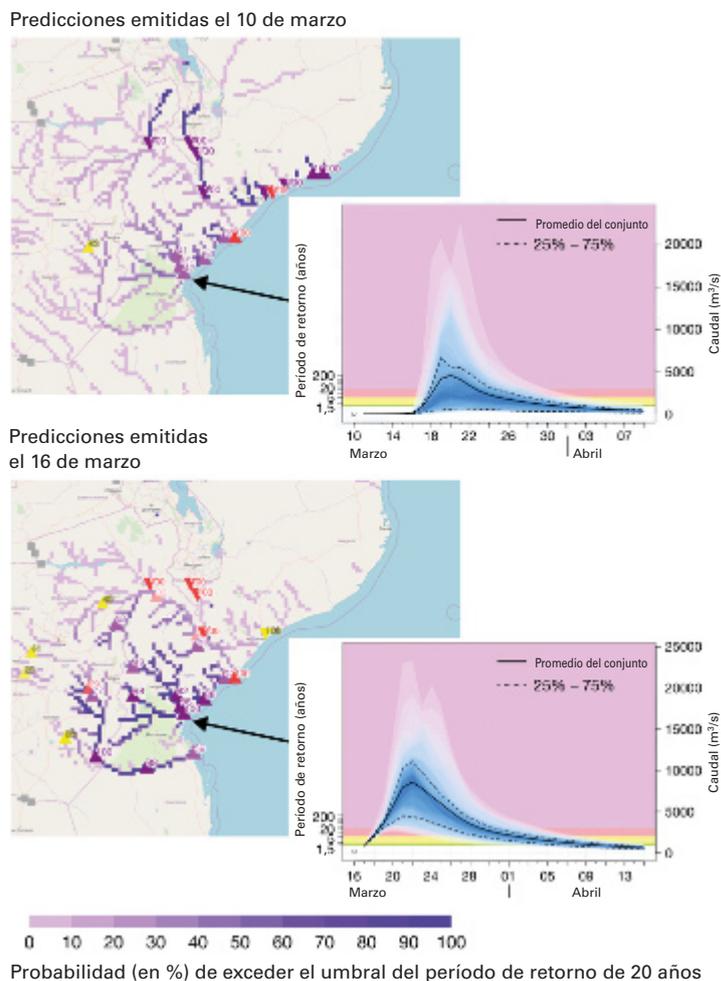


Figura 2. Predicciones de riesgo de crecidas del sistema GloFAS obtenidas de la salida del modelo global del ECMWF. El sombreado de los ríos en los mapas muestra la probabilidad (en %) prevista de que el caudal del río exceda el umbral de aviso de inundación severa (período de retorno de 20 años) durante los 30 días siguientes en las predicciones emitidas el 10 de marzo de 2019 (arriba) y el 16 de marzo de 2019 (abajo). Los gráficos de los recuadros muestran la evolución del caudal del río Pungwe en Beira (Mozambique). (Fuente: Magnusson y otros, 2019).

modelización del sistema Tierra para la predicción de crecidas es claramente una prueba de concepto. El Sistema mundial de concienciación sobre inundaciones (GloFAS, [www.globalfloods.eu/](http://www.globalfloods.eu/)), para el que el ECMWF es el centro computacional, es el componente de predicción del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus de la Comisión Europea, completamente operativo las 24 horas del día. GloFAS ofrece información para dar apoyo a la alerta temprana de crecidas en todo el mundo. Por ejemplo, la figura 2 muestra la predicción de crecidas de GloFAS que se utilizó en Mozambique, en marzo de 2019, durante el devastador ciclón tropical Idai.

## Dificultades del enfoque del sistema Tierra en hidrología

La resolución espacial de los modelos del sistema Tierra es actualmente bastante baja para la predicción hidrológica en cuencas pequeñas. Así por ejemplo, se

recomienda el uso de GloFAS, con una rejilla de resolución horizontal de 10 km, para las cuencas grandes y medias con un área mayor de 1000 km<sup>2</sup>. Sin embargo, donde hay disponibilidad de realizar observaciones *in situ* los modelos clásicos pueden implementarse para cuencas mucho más pequeñas. Se necesita un objetivo de una "hiperresolución" del orden de 1 km a nivel global para que los modelos de predicción hidrológica del sistema terrestre sean útiles a escalas locales (Wood y otros, 2011).

Reducir los errores en el balance hídrico en los modelos hidrológicos clásicos es mucho más sencillo ya que estos modelos solo pretenden predecir el caudal de los ríos correctamente. El cierre del balance hídrico en los modelos del sistema Tierra debe hacerse de forma que no empeore la predicción de otros componentes esenciales para la predicción del tiempo y el clima.

El seguimiento del progreso de cualquier nuevo desarrollo en predicción hidrológica, así como la verificación

en tierra (mediante mediciones) de las nuevas capacidades de teledetección del caudal fluvial, depende del acceso en tiempo real a las observaciones hidrológicas históricas en un contexto de datos normalizados. Iniciativas tales como el Sistema de Observación Hidrológica de la OMM (WHOS, [www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/chy/whos/index.php](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/chy/whos/index.php)), que harían accesibles estos datos, son cruciales para el avance de la predicción hidrológica mundial (Lavers y otros, 2019).

## De la idea a la realidad

El progreso sustancial en materia de predicción hidrológica llevado a cabo en el campo de la hidrología con los modelos clásicos no puede ignorarse y es esencial que continúe. Sin embargo, el enfoque del sistema Tierra es más eficaz en la predicción global ya que proporciona un marco más claro y una perspectiva de trabajo para una colaboración interdisciplinaria más estrecha, mejores asimilación de datos y capacidades de observación del sistema Tierra, acceso a facilidades de alta computación y un servicio sostenible. Nos enfrentamos a las presiones del cambio climático y de una creciente población mundial, con la ambición y responsabilidad –como comunidad al servicio de la sociedad que somos– de estar preparados y disponer de sistemas de predicción a la altura de los desafíos globales. El enfoque del sistema Tierra es prometedor a la hora de abordar tales desafíos.

Con el liderazgo y los recursos adecuados, y con un grupo de científicos interdisciplinarios que, dando un paso más allá de sus zonas de confort, acojan esta nueva forma de hacer, es posible ampliar los límites de la predicción hidrológica hacia un enfoque del sistema Tierra. Los avances ya han empezado, tal y como demuestra el GloFAS. Con superordenadores cada vez más potentes, que permiten probar modelos innovadores del sistema Tierra global a escala de kilómetros (ECMWF, 2020), el objetivo de desarrollar modelos de este sistema para una predicción hidrológica totalmente acoplada se puede alcanzar en la próxima década.

## Referencias

Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J. y Pappenberger, F., 2013, GloFAS - global

ensemble streamflow forecasting and flood early warning, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(3), 1161-1175, doi: 10.5194/hess-17-1161-2013.

ECMWF, 2020. ECMWF scientists to simulate global weather at 1 km resolution, accessed 23 January 2020, ECMWF news article, disponible en: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2020/ecmwf-scientists-simulate-global-weather-1-km-resolution>

Emerton, R., Zsoter, E., Arnal, L., Cloke, H. L., Muraro, D., Prudhomme, C., Stephens, E. M., Salamon, P. y Pappenberger, F., 2018. Developing a global operational seasonal hydro-meteorological forecasting system: GloFAS-Seasonal v1.0, *Geosci. Model Dev.*, 11(8), 3327-3346, doi: <https://doi.org/10.5194/gmd-11-3327-2018>.

Lavers, D., Harrigan, S., Andersson, E., Richardson, D. S., Prudhomme, C. y Pappenberger, F., 2019. A vision for improving global flood forecasting, *Environ. Res. Lett.*, doi: 10.1088/1748-9326/ab52b2.

Magnusson, L., Zsoter, E., Prudhomme, C., Baugh, C., Harrigan, S., Ficchi, A., Emerton, R., Cloke, H., Stephens, L. y Speight, L., 2019. ECMWF works with universities to support response to tropical cyclone Idai, *ECMWF Newsletter*, 160, 2-3.

Nash, J. E. y Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290, doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

Wood, E. F., Roundy, J. K., Troy, T. J., Beek, L. P. H. van, Bierkens, M. F. P., Blyth, E., Roo, A. de, Döll, P., Ek, M., Famiglietti, J., Gochis, D., Giesen, N. van de, Houser, P., Jaffé, P. R., Kollet, S., Lehner, B., Lettenmaier, D. P., Peters-Lidard, C., Sivapalan, M., Sheffield, J., Wade, A. y Whitehead, P., 2011. Hyperresolution global land surface modeling: Meeting a grand challenge for monitoring Earth's terrestrial water, *Water Resources Research*, 47(5), doi: 10.1029/2010WR010090.

Zsoter, E., Cloke, H., Stephens, E., de Rosnay, P., Muñoz-Sabater, J., Prudhomme, C. y Pappenberger, F., 2019. How Well Do Operational Numerical Weather Prediction Configurations Represent Hydrology?, *J. Hydrometeorol.*, 20(8), 1533-1552, doi: 10.1175/JHM-D-18-0086.1.