

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA CONTINENTAL EN LA CUENCA DEL PLATA MEDIANTE GRAVIMETRÍA SATELITAL

A. Pereira, C. Cornero, S. Amherdt y M.C. Pacino

Área de Geodinámica y Geofísica - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura,
Universidad Nacional de Rosario- CONICET Av. Pellegrini 250- 3º, 2000, Rosario, Argentina.
E-mail: apereira@fceia.unr.edu.ar

Introducción

En las últimas décadas, el 90% de los desastres naturales ocurridos en el mundo estuvieron relacionados con el agua.

El cambio climático es una preocupación a nivel global y Sudamérica no está exento a ello. Las variaciones en la circulación de aguas superficiales y subterráneas pueden afectar en gran medida a regiones ecológicamente sensibles. Por otro lado, las llanuras son un escenario de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, de déficit o excedentes hídricos.

La región de la Cuenca del Plata en el territorio nacional ha sufrido eventos de crecidas extraordinarias de mayor magnitud en términos de volúmenes, tiempos, áreas inundadas y pérdidas. Las inundaciones, asociadas principalmente al fenómeno de El Niño, castigaron a las provincias de la región Litoral-Mesopotamia. Asimismo, en los últimos años se han producido extensas inundaciones en áreas rurales (sur de Santa Fe y Córdoba y noroeste de Buenos Aires) y en áreas urbanas con pérdidas humanas y materiales. La región también ha sobrellevado situaciones extremas de déficit hídrico, como la sequía del año 2009 cuando se declaró la emergencia agropecuaria nacional.

Surge entonces, la necesidad del conocimiento de la dinámica y de las fluctuaciones temporales del área inundada como instrumento de información esencial para los sistemas de alerta temprana de inundación/sequía y para los modelos de evaluación ambiental en general, incluyendo modelos de cambio global.

En este sentido, es necesario mencionar que la gravedad no permanece constante, sino que varía con el tiempo dependiendo principalmente de la redistribución de las masas. Estos cambios pueden asociarse con las variaciones temporales en el almacenamiento del agua continental (Andersen et al. 2008; Chen et al. 2007, 2010; Klees et al. 2008; Rodell et al. 2007; Wahr et al. 2004)

Las observaciones espaciales tienen el potencial de mejorar significativamente nuestra comprensión de los procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas y su influencia en la variabilidad climática, geodinámica y socio-económica. Se puede obtener información sin precedentes a través de la combinación de observaciones superficiales con observaciones desde el espacio, las cuales ofrecen una cobertura geográfica global, un buen muestreo espacio-temporal y un monitoreo continuo en el tiempo.

En particular, la misión gravimétrica satelital GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) observa el ciclo hidrológico y permite monitorear cambios en el almacenamiento de agua continental. Asimismo, mediante esta misión es posible analizar los procesos hidrológicos en grandes cuencas hidrográficas y su influencia en la variabilidad climática, geodinámica y socio-económica, complementando las observaciones *in situ* y el modelado hidrológico.

Esta propuesta plantea el análisis multitemporal de las variaciones de la masa de agua continental -TWS- (*Total Water Storage*) y la identificación de patrones de escurrimiento superficial y flujo de agua subterránea en la Cuenca del Plata

para el período 2002 - 2017, a partir de datos gravimétricos satelitales provenientes de la misión GRACE principalmente.

Entre los estudios previos realizados en la Cuenca del Plata mediante el satélite GRACE pueden mencionarse los de Chen et al., 2010; Pereira and Pacino, 2012; Frappart et al., 2013; y Abelen et al., 2015.

Metodología

Las variaciones de masa de agua para la Cuenca del Plata se obtuvieron a partir de las soluciones de alta resolución CSR GRACE RL05 (Landerer & Swenson, 2012; Swenson & Wahr, 2006), las que proveen variaciones mensuales del TWS con una resolución espacial de 0.5°. En dichas soluciones es aplicada la corrección de Bouguer para derivar las variaciones de la gravedad en aquellas ocurridas en el espesor de una capa delgada de agua, conformada por agua superficial, humedad del suelo y agua subterránea.

Mediante este enfoque, es posible obtener las estimaciones de anomalías de masa en forma de grilla o en concentraciones puntuales de masas.

Resultados

Las variaciones de masa de agua más significativas se encontraron mayormente en la cuenca del río Paraná, presentándose una disminución progresiva del almacenamiento de la misma con un pico máximo durante el 2009, año de intensa sequía en la región (Figura 1).

Por otro lado, los valores extremos hallados a partir de los modelos de GRACE para la cuenca del Plata, coinciden con episodios intensos de El Niño (2015-2016) y La Niña (2009) ocurridos en la región.

En particular, el déficit de lluvias en Argentina tuvo un pico máximo en otoño de 2009, y en algunas localidades los totales anuales de precipitaciones fueron los más bajos de los últimos 47 años (Servicio Meteorológico Nacional -SMN-), con déficits mayores a 60% en la región pampeana.

En cuanto al aumento del TWS en el período 2015-2016, éste se relaciona con un evento intenso de El Niño, ubicado entre los 4 más fuertes de los últimos 50 años (SMN). En dicho período, precipitaciones intensas tuvieron lugar en Argentina, Paraguay, sur de Brasil y Uruguay, y se registraron importantes valores de lluvia acumulada, que provocaron desbordes de ríos, anegamientos, inundaciones y gran número de evacuados.

Los resultados de TWS fueron luego validados con series temporales de precipitación, alturas hidrométricas y valores de humedad del suelo, de manera de encontrar una correlación entre la variación de la masa hídrica y el escurrimiento superficial, para fundamentar coherentemente el comportamiento hídrico regional. En la Figura 2 se muestran las señales de TWS obtenidas a partir de GRACE versus datos satelitales de precipitación provenientes de la misión TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) para la Cuenca del Plata.

Conclusiones

Respecto de las variaciones temporales de masa de agua

continental, puede concluirse a partir de los resultados obtenidos que GRACE detectó los cambios más significativos. Las estimaciones de TWS resultaron consistentes con datos de precipitación. En el período analizado, GRACE detectó las importantes lluvias ocurridas en el 2015-2016 y también la intensa sequía en la zona sur de la Cuenca, que tuvo su pico máximo en otoño de 2009. Estos acontecimientos extremos, parecen estar conectados con eventos como El Niño y La Niña. El análisis en toda la Cuenca del Plata presenta grandes diferencias debido al complejo ciclo hidrológico que ésta presenta. Esto se debe a los diferentes regímenes de precipitación que en ella conviven y a los distintos comportamientos de cada subcuenca, lo que hace que describir toda la Cuenca en conjunto sea una tarea complicada.

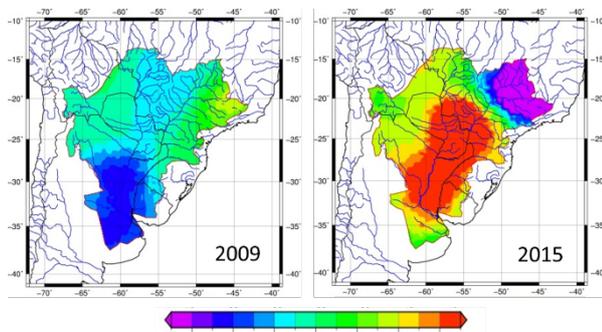


Figura 1.- Períodos con valores extremos de TWS hallados en la cuenca del Plata a partir de datos GRACE (en mm/año).

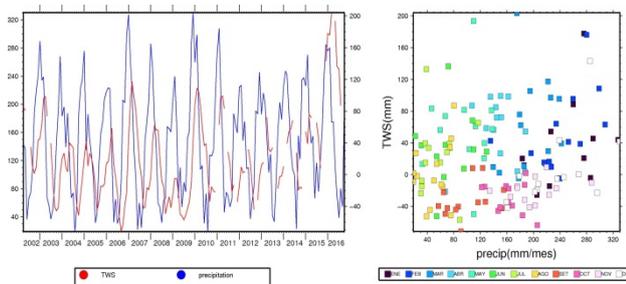


Figura 2.- TWS (GRACE) versus precipitación (TRMM) en mm para la cuenca del Plata, período 2002-2016.

Referencias bibliográficas

- Abelen, S., Seitz F., Abarca del Rio R., Güntner A. (2015). Droughts and Floods in the La Plata Basin in Soil Moisture Data and GRACE. *Remote Sens.* 2015, 7, 7324-7349.
- Andersen, O., Berry P., Freeman J., Lemoine F.G., Lutsckhe S., Jakobsen F., Butts M. (2008). "Satellite altimetry and GRACE gravimetry for studies of the annual water storage variations". In *Bangladesh. Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19 (1-2): 47-52.
- Chen, J.L., Wilson C.R., Tapley B.D., Blankenship D.D., Ivins E.R. (2007). "Patagonia Icefield melting observed by GRACE". *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22501, doi: 10.1029/2007GL031871.
- Chen, J.L., Wilson C.R., Tapley B.D., Longuevergne L., Yang Z.L., Scanlon B.R. (2010). "Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry". *J. Geophys. Res.*, 115, D22108, doi:10.1029/2010JD014689.
- Klees, R., Liu X., Wittwer T., Gunter B. C., Revtova E. A., Tenzer R., Ditmar P., Winsemius H. C., Savenije H. H. G. (2008). "A Comparison of Global and Regional GRACE Models for Land Hydrology". *Survey Geophysics* 29: 335-359, doi: 10.1007/s10712-008-9049-8.
- Frappart, F., Seoane L., Ramillien G. (2013). "Validation of GRACE-derived terrestrial water storage from a regional approach over South America". *Remote Sensing of Environment* 137: 69-83.

Landerer, F.W. and Swenson S.C. (2012). Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water Resources Research*, 48, W04531, 11 pp, doi:10.1029/2011WR011453.

Pereira, A., Pacino M.C. (2012). Annual and seasonal water storage changes detected from GRACE data in the La Plata Basin. *Phys. Earth Planet. Inter.* 212-213, 88-99.

Rodell, M., Chen J., Kato H., Famiglietti J.S., Nigro J., Wilson C.R. (2007). "Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE". *Hydrogeology Journal* (2007) 15: 159-166.

Swenson, S. C. and Wahr J. (2006). Post-processing removal of correlated errors in GRACE data. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08402, doi:10.1029/2005GL025285.

Wahr, J., S. Swenson, V. Zlotnicki, and Velicogna I. (2004). "Time-variable gravity from GRACE: First results". *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11501, doi:10.1029/2004GL019779