

# hydroToolkit y HBV.IANIGLA: dos paquetes en R para estudios hidrológicos en los Andes

## hydroToolkit and HBV.IANIGLA: two R packages for hydrological studies in the Andes

Presentación: 6 y 7 de octubre, 2020

### Doctorando:

#### **Ezequiel Tourn**

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) - Argentina  
etourn@mendoza-conicet.gob.ar

### Director/es:

#### **Mariano H. Masiokas**

### Co-director/es:

#### **Ricardo Villalba**

### Resumen

En muchas regiones del planeta las montañas son las principales generadoras de agua, elemento que constituye el componente esencial para la conservación de diversos ecosistemas y el desarrollo socio-económico de las poblaciones aledañas (Mariano H. Masiokas et al., 2006; Viviroli & Weingartner, 2004). En el oeste argentino, resulta indispensable para el regadío de cultivos, para el suministro de agua tanto municipal como industrial, para la producción de energía hidroeléctrica y para el equilibrio medioambiental de los ecosistemas que se encuentran en las cuencas. Sin embargo, a pesar de que la Argentina cuenta con más de 3000 km de cordillera y numerosas poblaciones que dependen directa o indirectamente de los recursos hídricos generados en las montañas, en la actualidad existen muy pocos avances y estudios centrados en la hidro-climatología andina (M. H. Masiokas et al., 2020; Villalba et al., 2003). Para abordar este tipo de estudios a lo largo de la cordillera, desarrollé dos paquetes que ya están disponibles en el repositorio oficial del lenguaje R: hydroToolkit y HBV.IANIGLA. El primero de ellos es un software diseñado para el manejo de las bases de datos hidro-meteorológicas tanto de Argentina como de Chile, y el segundo es un modelo hidrológico que permite, entre otras cosas, simular el balance de masa glaciar, aspecto fundamental para estudios hidrológicos en los Andes.

Palabras clave: R, bases de datos, hidrología, meteorología, glaciares, Argentina, Chile

### Abstract

In many parts of the world mountains are essential sources of fresh water and the principal component for ecosystems conservation and socioeconomic development (Mariano H. Masiokas et al., 2006; Viviroli & Weingartner, 2004). In the west of Argentina, it is an essential resource for crop irrigation, domestic and industrial water supply, hydro-power generation and environmental equilibrium. Argentina has a mountain range that extends more than 3000 km long and many populations in the lowlands that are directly or indirectly influenced by the availability of mountain freshwater; despite this there are only a few scientific hydro-climatic studies in the Andes (M. H. Masiokas et al., 2020; Villalba et al., 2003). In order to

afford this kind of research I developed two R packages that are available on CRAN: hydroToolkit and HBV.IANIGLA. The former is a software for regional hydro-meteorological data management (Argentina and Chile), and the last one is an hydrological model suited for working in Andean catchments (e.g.: incorporates a glacier module).

Keywords: R, database, hydrology, meteorology, glaciers, Argentina, Chile

## Introducción

La modelización hidrológica es ampliamente utilizada por ingenieros, meteorólogos, geógrafos, geólogos e investigadores interesados en conocer, por ejemplo, cuál será el escurrimiento de un río en los próximos días, qué pasará con el paquete de nieve si dan ciertos cambios en la temperatura o radiación solar o, en general, cómo resultarán otros procesos hidrológicos relevantes según sea el caso. Durante los últimos 40 años el modelo hidrológico HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) ha sido uno de los más utilizados alrededor del mundo debido a su robustez, simplicidad y buenos resultados (Bergström & Lindström, 2015) A pesar de estas ventajas, las versiones disponibles imponen ciertas limitaciones para estudios de investigación en cuencas montañosas dominadas por el derretimiento de nieve y/o hielo (i.e.: no hay módulo glaciar, número limitado de bandas de elevación, entre otras). Desarrollé el paquete HBV.IANIGLA (Toum, 2019) para abordar estudios hidroclimáticos de los Andes de Argentina y lo diseñé de forma modular, aspecto que lo vuelve versátil en la resolución problemas hidrológicos disímiles. Según mi conocimiento, esta es la primer versión desacoplada del modelo HBV.

Otra arista necesaria para el abordaje de estudios hidrológicos es el manejo eficiente de las mediciones hidro-meteorológicas que se registran. Estos datos, provistos por agencias nacionales, grupos de investigación y compañías privadas, son de naturaleza heterogénea (Argentina y Chile). Los motivos son varios: archivos con formatos diversos, los procesos de control en la calidad de éstos no son homogéneos (incluso muchas veces varían dentro de una misma repartición), las variables meteorológicas no siempre se registran con la misma resolución temporal, subsisten vacíos entre mediciones así como periodos con poca verosimilitud en los registros. Incluso una vez sorteadas estas dificultades, es necesario contar con herramientas para poder manipularlos de manera eficiente. De lo expresado surgen al menos algunos interrogantes: ¿es posible cargar de manera automática estas series? una vez hecho esto, ¿cuál es la mejor forma de aglomerarlas para su posterior análisis? ¿es posible que quede registro de las modificaciones que le vamos haciendo a medida que las pulimos? hydroToolkit (Toum, 2020) es un paquete que desarrollé, fruto de la necesidad, para dar respuesta a este tipo de preguntas. El mismo, está diseñado bajo el paradigma de programación orientada a objetos, con el fin de otorgarle la flexibilidad necesaria para hacer frente a la heterogeneidad de las bases de datos hidro-meteorológicas de Argentina y Chile. Si bien actualmente el paquete permite trabajar con datos provenientes de: Base de Datos Hidrológica Integrada, IANIGLA, CR2-Chile y del Departamento General de Irrigación, su funcionalidad se puede extender de forma expeditiva hacia el manejo de nuevas bases de datos.

## Desarrollo

Al paquete HBV.IANIGLA lo diseñé para correr dentro del ambiente del lenguaje R (R Core Team, 2020). Las funciones del paquete (módulos del modelo HBV) están escritas con Rcpp (Eddelbuettel, 2013), que permite extender el lenguaje nativo de R usando C++. Tomé esta determinación para combinar la rapidez y eficiencia del lenguaje compilado C++, con el potente ambiente interactivo que ofrece R, un lenguaje con una enorme cantidad de paquetes y funciones que permiten que todo el flujo de trabajo hidrológico

(desde la descarga de datos hasta el análisis de los resultados) se pueda concretar en un solo ambiente (Slater et al., 2019).

Elegí seguir ampliando este modelo (HBV) por dos motivos: primero, ha sido usado de forma continua para estudios hidrológicos en zonas de montaña alrededor del mundo y, segundo, porque requiere relativamente pocos datos de entrada (temperatura del aire, precipitación, y evapotranspiración potencial), condición que resulta apropiada en zonas con escasez de información meteorológica como los Andes del Sur (el lector podrá encontrar algunas aplicaciones para otras regiones montañosas del planeta en Finger et al., 2015; Ren et al., 2018; Seibert et al., 2018; Stahl et al., 2008).

hydroToolkit es un paquete para leer, graficar, manipular y procesar series hidro-meteorológicas provenientes de Argentina y Chile dentro del lenguaje R (R Core Team, 2020). En un trabajo que versa sobre avances en R aplicados a la hidrología, Slater et al. (2019) mostraron que es posible realizar todo el flujo de trabajo (desde la descarga de datos hasta la visualización de resultados) en un solo ambiente. Dentro de ese proceso se encuentran la manipulación de datos, y su visualización. Si bien actualmente existen paquetes que permiten realizar estas tareas, ninguno de ellos tiene la especificidad suficiente para procesar series hidro-meteorológicas de Argentina y Chile. Esto implica que cada hidrólogo debe adaptar la funcionalidad de estos paquetes a sus datos. La versión del paquete que presento en estas jornadas (0.1.0) permite trabajar con los datos provenientes de:

\* **Base de Datos Hidrológica Integrada:** es sin lugar a dudas el repositorio de series (hidro-meteorológicas) más extenso que existe en la Argentina (tanto desde el punto de vista espacial como temporal). En él se pueden encontrar estaciones ubicadas en la Quiaca y Tierra del Fuego, y además contiene estaciones con registros que datan de principios del siglo pasado.

\* **IANIGLA:** en 2016 el Grupo de Glaciología e Hidroclimatología Andina comenzó a instalar una serie de estaciones con transmisión remota en la cuenca del río Mendoza. El objetivo es obtener información para comprender mejor la interacción existente entre la atmósfera y la tierra en zonas de alta montaña bajo el contexto de cambio climático.

\* **Departamento General de Irrigación:** esta institución es la encargada de la gestión de recurso hídrico en la provincia de Mendoza. Como la génesis del agua que escurre por los principales ríos de la provincia es fruto de la fusión nival y glaciario de montaña, el DGI tiene instalado una serie de estaciones nivométricas en las cabeceras de estos ríos.

\* **CR2:** el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia de Chile reúne a investigadores de distintas disciplinas de las ciencias naturales y sociales que estudian cómo el cambio climático impacta a los ecosistemas y a la sociedad chilena. Dentro de los servicios que este grupo brinda, está el Explorador Climático, una plataforma para visualizar y descargar registros históricos de precipitación, temperatura y caudal de ríos a lo largo de todo el territorio trasandino. Es importante notar que la atmósfera no distingue entre límites políticos, y como la Cordillera de los Andes es una sola, la información proveniente de ambas vertientes es de suma importancia para estudios hidroclimáticos en los Andes.

## Resultados

Ambos paquetes se pueden descargar del repositorio oficial de R, CRAN, de la forma usual:

```
> install.packages('HBV.IANIGLA')
> install.packages('hydroToolkit')
```

una vez instalados, simplemente hay que invocarlos para dar uso a su funcionalidad,

```
> library(HBV.IANIGLA)
> library(hydroToolkit)
```

A continuación muestro la simulación del caudal medio mensual y la serie de balance de masa glaciario anual para la cuenca del río Cuevas (afluente del río Mendoza). Tanto las figuras como todo

el trabajo de carga de datos hidro-meteorológicos (pre y post procesamiento) lo realicé con hydroToolkit. La modelización está hecha con HBV.IANIGLA.

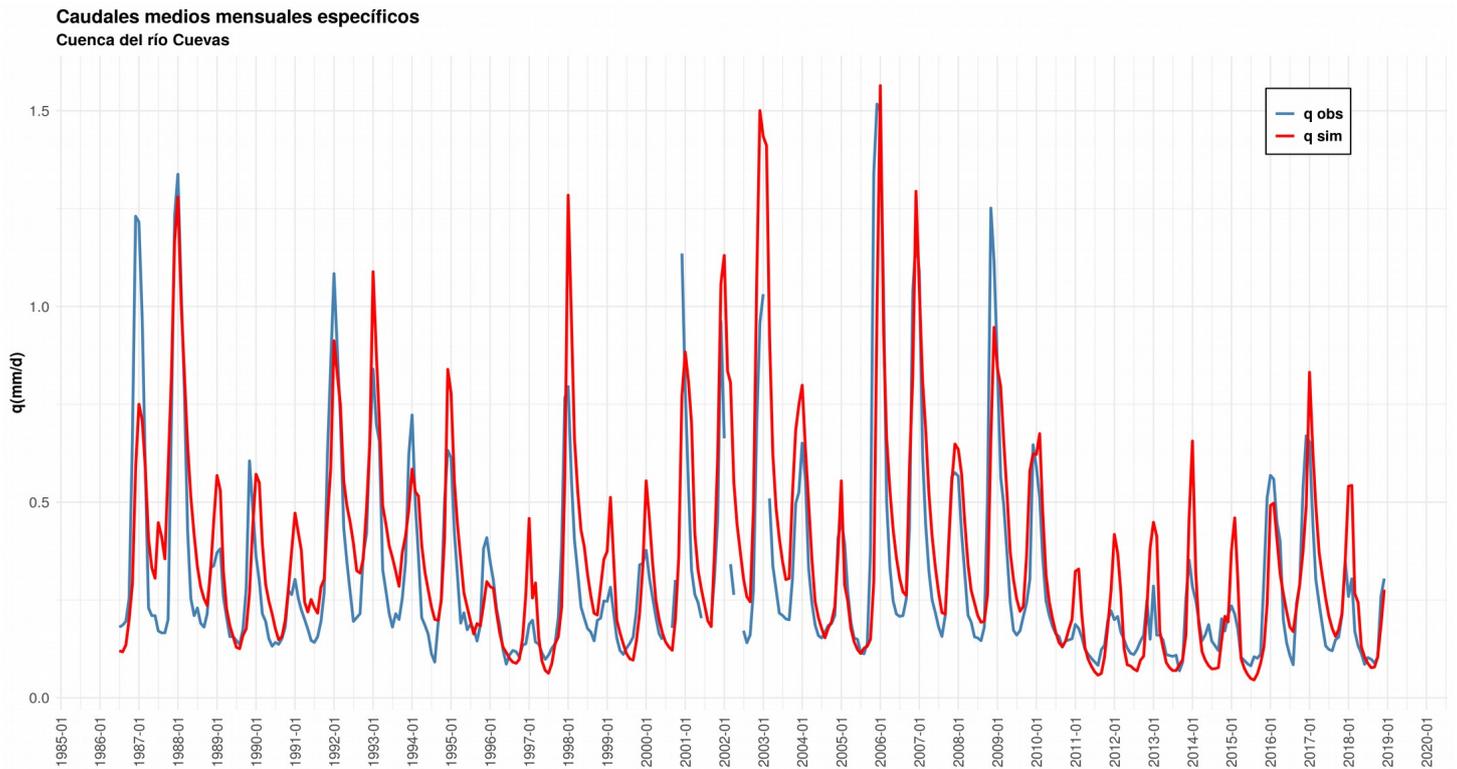


Figura 1: caudales medios mensuales observados y simulados para la cuenca del río Cuevas. La simulación abarca periodos con condiciones hidrológicas disímiles (años secos, medios y húmedos).

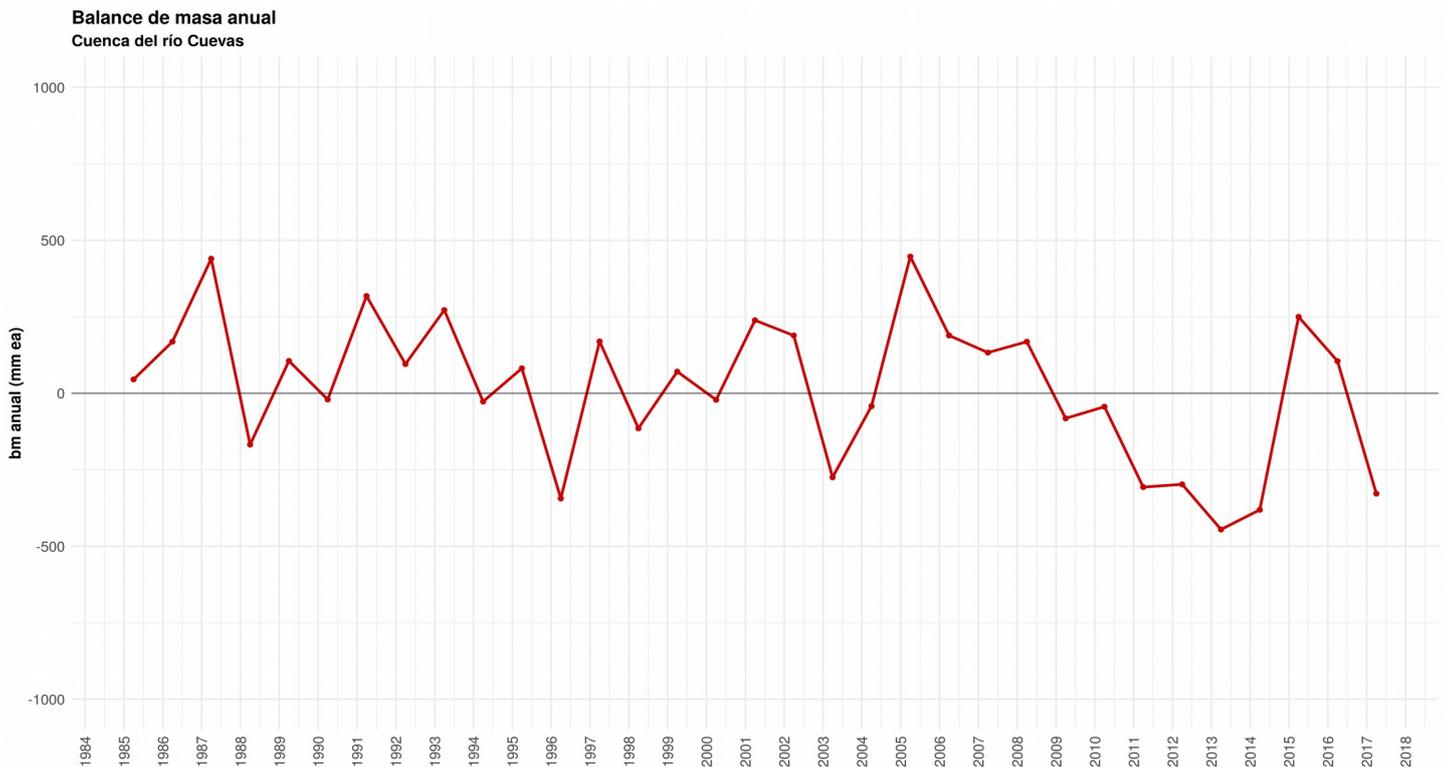


Figura 2: balance de masa glaciaria anual para la cuenca del río Cuevas. Se puede apreciar la correspondencia entre periodos húmedos, medios y secos de la figura 1 con años de ganancia/pérdida neta de masa glaciaria.

## Referencias

- Bergström, S., & Lindström, G. (2015). Interpretation of runoff processes in hydrological modelling—Experience from the HBV approach. *Hydrological Processes*, 29(16), 3535-3545. <https://doi.org/10.1002/hyp.10510>
- Eddelbuettel, D. (2013). *Seamless R and C++ Integration with Rcpp*. Springer-Verlag.  
<https://www.springer.com/gp/book/9781461468677>
- Finger, D., Vis, M., Huss, M., & Seibert, J. (2015). The value of multiple data set calibration versus model complexity for improving the performance of hydrological models in mountain catchments. *Water Resources Research*, 51(4), 1939-1958. <https://doi.org/10.1002/2014WR015712>
- Masiokas, M. H., Rabatel, A., Rivera, A., Ruiz, L., Pitte, P., Ceballos, J. L., Barcaza, G., Soruco, A., Bown, F., Berthier, E., Dussailant, I., & MacDonell, S. (2020). A Review of the Current State and Recent Changes of the Andean Cryosphere. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00099>
- Masiokas, Mariano H., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C., & Aravena, J. C. (2006). Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. *Journal of Climate*, 19(24), 6334-6352. <https://doi.org/10.1175/JCLI3969.1>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ren, W. W., Yang, T., Huang, C. S., Xu, C. Y., & Shao, Q. X. (2018). Improving monthly streamflow prediction in alpine regions: Integrating HBV model with Bayesian neural network. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(12), 3381-3396. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1553-x>
- Seibert, J., Vis, M. J. P., Kohn, I., Weiler, M., & Stahl, K. (2018). Technical note: Representing glacier geometry changes in a semi-distributed hydrological model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22(4), 2211-2224. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2211-2018>
- Slater, L. J., Thirel, G., Harrigan, S., Delaigue, O., Hurley, A., Khouakhi, A., Prodocimi, I., Vitolo, C., & Smith, K. (2019). Using R in hydrology: A review of recent developments and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1-33. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-50>
- Stahl, K., Moore, R. D., Shea, J. M., Hutchinson, D., & Cannon, A. J. (2008). Coupled modelling of glacier and streamflow response to future climate scenarios. *Water Resources Research*, 44(2), W02422.  
<https://doi.org/10.1029/2007WR005956>
- Toum, E. (2019). *HBV.IANIGLA: Decoupled Hydrological Model for Research and Education Purposes*. <https://CRAN.R-project.org/package=HBV.IANIGLA>

- Toum, E. (2020). *hydroToolkit: Hydrological Tools for Handling Hydro-Meteorological Data from Argentina and Chile*. <https://cran.r-project.org/web/packages/hydroToolkit/>
- Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J. A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J. C., Roig, F. A., Schmelter, A., Wolodarsky, A., & Ripalta, A. (2003). Large-Scale Temperature Changes Across the Southern Andes: 20th-Century Variations in the Context of the Past 400 Years. En H. F. Diaz (Ed.), *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future* (pp. 177-232). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7_10)
- Viviroli, D., & Weingartner, R. (2004). The hydrological significance of mountains: From regional to global scale. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8(6), 1017-1030. <https://doi.org/10.5194/hess-8-1017-2004>