

Importancia de los Sistemas de Información Integral para el manejo integrado de cuencas hidrológicas

César Luis García^{1,2}, Franziska Zander³, Sven Kralisch³, Andrés Carlos Ravelo¹, Carlos Marcelo García^{4,2} y Wolfgang-Albert Flügel³.

(1) CONICET, Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) FCA – UNC, (2) EHCPA, Facultad de Ingeniería – UCC, (3) Department of Geoinformatics, Hydrology and Modelling, Friedrich-Schiller-University, Jena, Germany (4) CONICET, Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA) FCFEYN – UNC.

E-mail: cesarnon@gmail.com

RESUMEN: El manejo integrado de cuencas hidrológicas tiene importancia económica y social, especialmente en Argentina, donde el 70% de la superficie corresponde a zonas áridas y semiáridas. En Córdoba, el crecimiento poblacional junto al comienzo de una temporada de sequías, han puesto en emergencia hídrica a la población. Los modelos hidrológicos ofrecen una herramienta óptima para el manejo integrado de cuencas, permitiendo evaluar distintos escenarios y realizar predicciones a corto plazo. Sin embargo, la fragmentación y la falta de integración de datos hidrometeorológicos dificultan la obtención de conocimiento relevante, siendo la disponibilidad y el manejo de datos la principal restricción en la implementación de los mencionados modelos. En la provincia de Córdoba, no se encuentra disponible una base de datos hidrometeorológicos formal y los datos se encuentran disgregados en distintos lugares, instituciones y formatos, dificultando la obtención de series temporales completas y sin faltantes relevantes. En este trabajo se implementa y evalúa una metodología integral de manejo de datos registrados por distintos sensores utilizando un sistema denominado “River Basin Information System (RBIS)”, un sistema libre y flexible para el análisis y manejo de datos, con una interface amigable y poderosas herramientas de visualización. RBIS resultó una herramienta apropiada para la integración de una base de datos de más de 14000 archivos originales y en formatos diversos (CIRSA-INA), permitiendo el manejo geo-referenciado de los datos. El uso de este sistema permitió cambiar fácilmente el formato, la resolución e integración temporal y completar datos faltantes en las series temporales con una diversidad de métodos adaptados a la naturaleza del dato. Los principales resultados obtenidos son la reconstrucción de series temporales de 17 años de variables hidrometeorológicas en distintas localizaciones de la región serrana de la provincia de Córdoba y la disponibilidad de un sistema de información integral que provee datos a múltiples grupos de investigación en las áreas de ingeniería, ecohidrología, agrometeorología y conservación ambiental.

INTRODUCCIÓN

El agua es una necesidad primaria para la vida y el desarrollo socioeconómico del hombre, por lo cual, el manejo de una cuenca hidrológica es una problemática de gran importancia económica, sanitaria y hedónica. Las zonas áridas y semiáridas conforman cerca del 70% de la superficie de la República Argentina, y un 40% de la superficie Global (LADA 2011). Estas zonas, no solo concentran un amplio porcentaje de la producción de bienes y materiales, sino que además son unas de las zonas más amenazadas del planeta. Sus frágiles ecosistemas son especialmente sensibles al cambio climático y a la aplicación de políticas de manejo no sustentables. En este contexto, un estudio de todas las ciudades del mundo de más de 750.000 habitantes, ubica a Córdoba como la octava ciudad del mundo más sensible a sufrir restricciones hídricas debido a la combinación de cambios climáticos, demográficos y ecológicos (Jenerette y Larsen, 2006). El crecimiento poblacional desmedido y desorganizado, en conjunto con el comienzo de una temporada de sequías, han puesto en emergencia hídrica a gran parte de la población.

Para mejorar los programas de manejo y conservación, es necesario aumentar el conocimiento de la dinámica hídrica y sus complejas interacciones. Este tipo de trabajo requiere un enfoque multidisciplinario y un gran flujo de datos provenientes de varias fuentes. En la actualidad, varios grupos de científicos trabajan en distintos aspectos de la problemática hidrometeorológica. Uno de los desafíos tecnológicos fundamentales es la generación de modelos hidrológicos que permitan analizar distintos escenarios climáticos y de manejo para hacer predicciones de los caudales disponibles para consumo. Sin embargo, una problemática general invade las distintas estrategias de investigación: la fragmentación y la dificultad para integrar los datos hidrometeorológicos de las distintas redes e instituciones que operan en la región. No contar bases de datos homogéneas en cuanto a contenido y estructura, común a todos los grupos, impide agrupar resultados provenientes de distintos proyectos. Además, se pierden gran cantidad de recursos en la adaptación y creación de nuevas estructuras y en la elaboración de bases de datos parciales.

La red telemétrica de estaciones hidrometeorológicas del Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (CIRSA – INA), viene operando desde fines de la década de 1980. A lo largo de su historia esta red ha registrado un enorme conjunto de datos, que se encuentran en un grupo de archivos que se van organizando y/o analizando manualmente a medida que es necesaria la información. Si bien algunas variables son integradas a paso diario para construir anuarios o distintos proyectos, no hay una base de datos homogénea con el contenido de todos los archivos de la red de estaciones, que supera ampliamente los 13 millones de registros. Contar con esta base de datos es fundamental para muchos proyectos de investigación y gestión en las sierras de Córdoba.

El sistema de información River Basin Information System (RBIS; Flügel, 2007), desarrollado en la Universidad de Friedrich-Schiller, Alemania, es una herramienta que permite organizar e integrar numerosas fuentes de datos de manera flexible. Este sistema posee una interface amigable, poderosas herramientas de visualización y un grupo de funciones para el análisis y manejo de datos. RBIS permite adaptar distintas configuraciones espacio-temporales de los datos siendo adaptable a distintos proyectos. En este trabajo se

presenta la implementación de esta herramienta en las cuencas hidrológicas de los Ríos en la región serrana de la provincia de Córdoba con el objetivo final es apoyar investigaciones en ingeniería, ecohidrología, agrometeorología y conservación ambiental.

MATERIALES Y METODOS

El sistema de Información RBIS

El RBIS está estructurado modularmente y consiste en una base de datos con relaciones espaciales y una aplicación server con una interface web para fácil acceso y manejo de los datos. La arquitectura básica es de 3 niveles usando *PostgreSQL* DBMS (<http://www.postgresql.org>) como motor de almacenamiento. Todo el sistema se encuentra desarrollado enteramente sobre la base de software de código abierto, en un ambiente Linux con servidor Apache, PHP y PostgreSQL/PostGIS (LAPP). Como plataforma para almacenar y visualizar datos espacialmente referenciados y distribuidos (geo-datos) se utiliza MapServer (<http://www.mapserver.org>) y PostGIS (<http://postgis.refrations.net>), con algunas modificaciones que se realizaron especialmente para aumentar la facilidad de uso de la interface. Los datos se almacenan en tablas, cuando es posible, o en sistemas de archivos como en el caso de datos crudos. Teniendo en cuenta los distintos componentes de la aplicación, 3 módulos de bases de datos son usados: uno para geo-datos, otro para series temporales y otro para los metadatos (Figura 1). En el ámbito de geo-datos, RBIS permite importar información en formatos de ESRI Shape con Dbf (dBase), TIFF y GeoTIFF. Las series temporales pueden ser importadas al sistema como archivos de texto o en formato CVS, admitiéndose varios tipos de separadores y formatos de fechas. RBIS es una aplicación accesible a través de la Web, por lo que cuenta con la posibilidad de importar todos los archivos de manera comprimida (*.zip, *.tar, *.tgz, *.gz) con la finalidad de reducir el esfuerzo y los tiempos de importación.

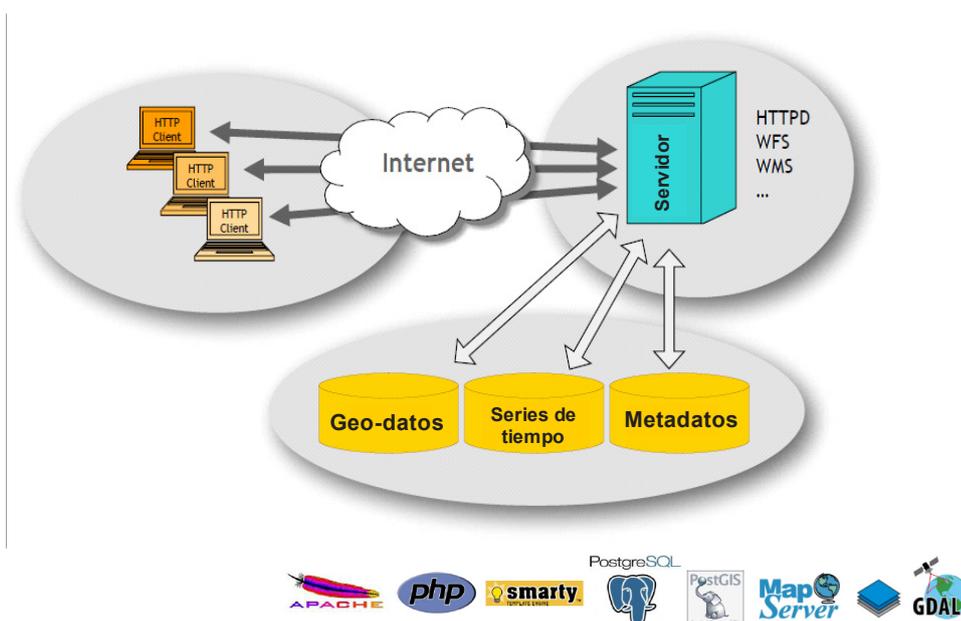


Figura 1.- Diagrama básico de la estructura de RBIS.

Por cada objeto nuevo que se agrega al sistema, como por ejemplo un mapa de suelo, una estación hidrometeorológica, una serie temporal de algún sensor, se debe ingresar conjuntamente una descripción de sus metadatos según el formato ISO 19115 y 19115-2 (ISO, 2003; ISO, 2009), estándar para información geográfica. De esta manera la información puede ser obtenida, relacionada e interconectada a través de cualquiera de los componentes. En la figura 2 puede observarse un diagrama de la interacción de los distintos componentes y su total interconexión.

El RBIS es accesible vía Internet y está diseñado para la distribución de la información entre usuarios con diferentes niveles de acceso, por ello cuenta con un administrador de usuarios y permisos. Esto permite otorgar derechos para distintas funciones de ABM de los datos a usuarios individuales o grupos de usuarios. El acceso se realiza a través de un sistema de control de acceso por usuario/contraseña y queda registrada cualquier modificación que se haga en el sistema.

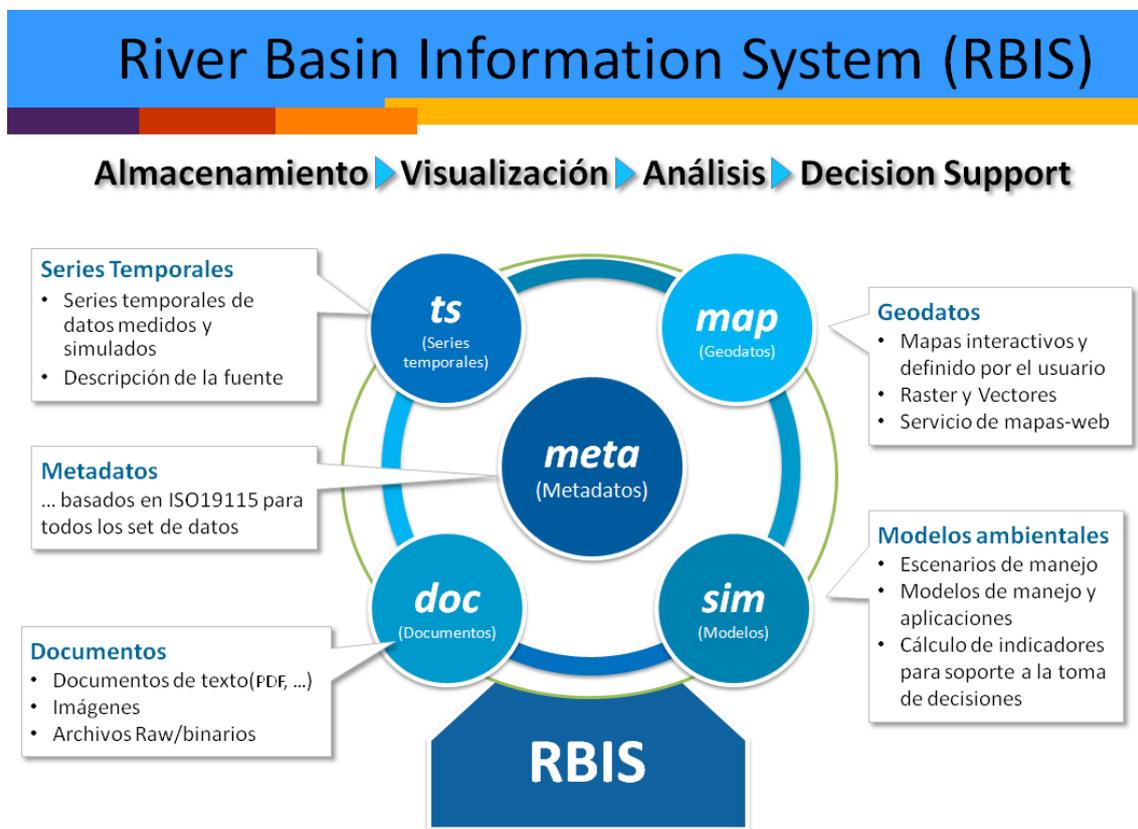


Figura 2.- Diagrama de interacción de los distintos componentes del Sistema de Información RBIS.

Datos utilizados

La información utilizada fue registrada por la red telemétrica de estaciones hidrometeorológicas del Centro de la Región Semiárida del instituto Nacional del Agua (CIRSA – INA) la cual cuenta con una red de sensores de precipitación, temperatura, niveles de ríos, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, y radiación solar. Su distribución espacial puede observarse en la figura 3 y abarca la región central de las Sierras Grandes y las Sierras Chicas de Córdoba. Se utilizaron para este trabajo los datos de más de 29

estaciones hidrometeorológicas que contienen distintos sensores que funcionaron entre 1994 y 2010. Cada estación remota se comunica con una central de recepción de datos utilizando VHF, donde se van registrando los valores de sus sensores activos. El conjunto de datos usados en este estudio fue un paquete de más de 14.000 archivos de texto, 400mb de datos y más de 10,000,000 de registros. Cada archivo contenía información del valor registrado por el sensor con una estampa de la fecha MM/DD/YY HH:MM:SS al momento de la lectura del dato. Generalmente cada archivo correspondía a un sensor y a un mes particular, encontrándose datos faltantes y excepciones a la estructura del contenido. La resolución temporal (el tiempo entre dos tomas sucesivas de datos) varió desde segundos hasta horas, según la variable muestreada, el sensor y/o la época.

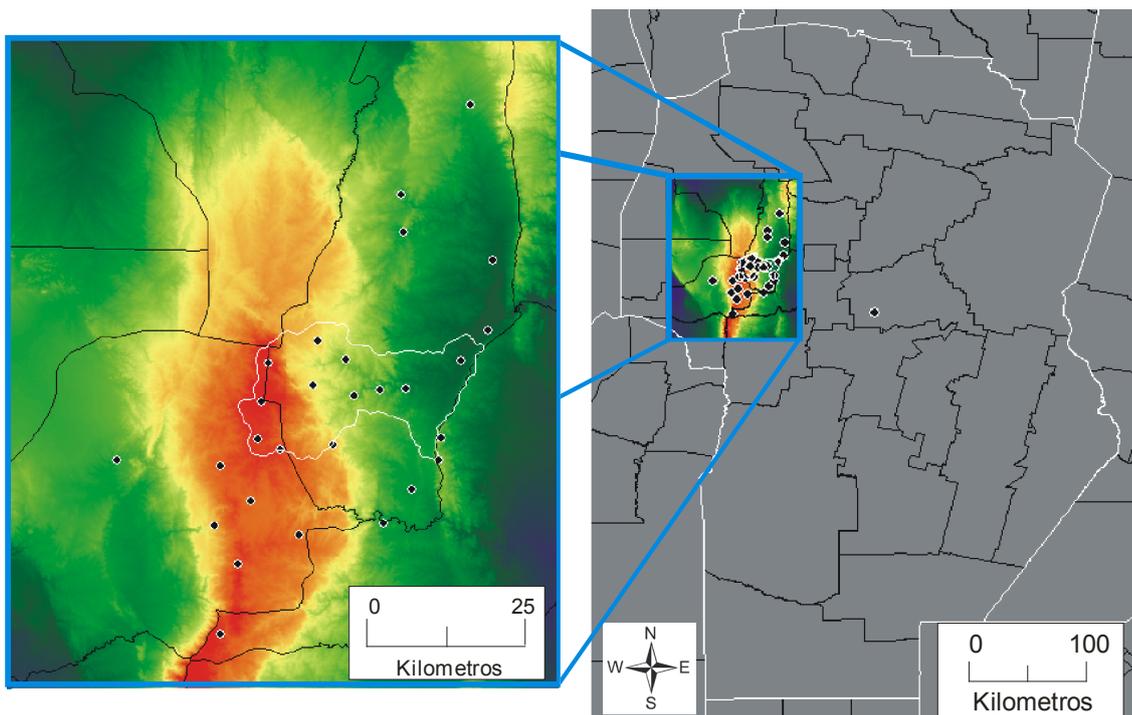


Figura 3.- Área de estudio y distribución de las estaciones de la Red Telemétrica del CIRSA que proveen datos hidrometeorológicos.

Construcción del Sistema de Información

El primer paso en esta actividad de construcción del sistema de información fue el de diseñar un código para agrupar los archivos de un mismo sensor en un mismo archivo, con la finalidad de obtener series temporales. Esta es la primera base de datos crudos donde todos los registros se hallan en un mismo estándar.

Cada sensor registra el dato en intervalos y a horas diferentes, y en el caso particular de lámina de lluvia precipitada se registra la fecha y hora de cada pulso (generalmente 1mm pero existen casos particulares con pulsos cada 0.1mm y 0.3mm). El siguiente paso tuvo como objetivo el de reconstruir las series a un intervalo de tiempo homogéneo, para que tengan la misma hora de inicio y fin entre las series. Las series temporales de un mismo tipo de sensor, se fueron incorporando individualmente en RBIS para realizar la estandarización de la resolución temporal. La serie de precipitación, dado sus características, fue la que se

llevó a mayor resolución temporal, con una frecuencia de un dato por minuto. El resto de las series fue integrada a valor horario para su mayor resolución.

El RBIS se ensambló con todos los componentes necesarios para generar una base de datos completa de las cuencas de estudio y permitir la posterior exportación de datos a sistemas de modelos hidrológicos. Se ingresaron un total de 29 estaciones hidrometeorológicas con su correspondiente ubicación, series temporales asociadas de sus distintos sensores y metadatos. Todas las series temporales se encuentran asociadas a una estación georreferenciada y cada estación puede contener múltiples series temporales de múltiples variables asociadas. También se procedió a hacer relleno de datos faltantes y se integraron todas las series a valores diarios.

RESULTADOS

Se obtuvo un RBIS que contiene datos de las cuencas hidrológicas de los Ríos: San Antonio, Cosquín, Mina Clavero y Anizacate en la provincia de Córdoba, el cual cuenta con visualizadores muy potentes y amigables que permitieron acceder a la información a través de mapas, listados de estaciones o listados de series temporales.

La base de datos crudos estuvo compuesta por más de 10 millones de registros que pertenecen a distintos sensores, según se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de datos registrados por tipo de sensores

Tipo de sensor	# registros	# sensores
Presión	1,536,590	13
Precipitación	462,982	42
Humedad	1,536,778	15
Radiación solar	897,673	8
Nivel del río	1,930,672	18
Temperatura	2,747,927	20
Viento	1,093,096	13
Total	10,205,718	129

Por cada uno de los sensores se creó una serie de tiempo de datos. Varias de estas series contienen numerosos datos faltantes o solo se extienden por un corto periodo de tiempo, por lo cual debieron ser corregidas o descartadas. Con RBIS se pudieron estandarizar los intervalos de tiempo y completar faltantes, lo cual produjo varias series de tiempo de diversa resolución temporal (Tabla 2). En este proceso se obtuvieron nuevos valores por técnicas de interpolación y se agruparon otros a fin de llegar a un paso de tiempo homogéneo.

Tabla 2: Series temporales estandarizadas y rellenas

Tipo de Resolución	# registros x sensor	# sensores
Minuto	8,935,200	12
Hora	148,920	24
Día	6,205	26

Todas las series temporales, ya sean medidas o estimadas, se hallan asociadas a un punto en el espacio correspondiente a la estación hidrometeorológica o punto de muestreo. De esta manera, mediante el uso de RBIS fue posible relacionar las distintas bases de datos en función de sus metadatos (Figura 4). Cada estación se asoció a distintos grupos: instituciones, áreas geopolíticas o cuencas hidrológicas, permitiendo que luego sean agrupadas según alguno de estos criterios operativos. Para series temporales se exploró una diversidad de herramientas que permitieron visualizar y convertir los datos en distinta resolución temporal, extraer fácilmente información sobre el estado de la serie e identificar automáticamente los intervalos sin datos (Figura 5).

San Antonio RBIS

Data overview: Station data

Datasets found: 52

[«] [◀] [▶] [»]

Datasets per Page 10

	#	Name	Identifier	Station Feature Parameter (Type, ...)	TS Data
[Details]	1	100	Santo Tomas	precipitation	2 [Show]
[Details]	2	200	Puesto Pereyra	climate station	5 [Show]
[Details]	3	300	La Casita	climate station	8 [Show]
[Details]	4	400	Caniada Larga	climate station	6 [Show]
[Details]	5	500	El Galpon	precipitation	2 [Show]
[Details]	6	600	Bo. El Canal	2 [Show]	7 [Show]
[Details]	7	700	Confluencia El Cajon	2 [Show]	9 [Show]
[Details]	8	900	Puesto Garay	climate station	8 [Show]
[Details]	9	1010	Confluencia Malambo	2 [Show]	8 [Show]
[Details]	10	1100	CIRSA - Villa Carlos Paz	climate station	7 [Show]

Figura 4: Lista de estaciones, sus características y las series temporales asociadas

Time series details

Overall statistics and actions

Dataset title: [Rain-600](#)

Number of entries: 8413605 (96.02 %)

Dataset start date: 1994-01-01 17:53

Dataset end date: 2009-12-31 12:37

Time step: 1 minute

Export: [\[database data\]](#) [\[file\]](#)

Interval statistics and actions

Time interval/
Columns:

	Hour	Minute	Day	Month	Year
Start:	17	53	01	01	1994
End:	12	37	31	12	2009

Columns: precipitation (mm)[\[335005/19\]](#)[\[1\]](#)[\[nST\]](#)

[set interval](#)

Number of entries: 8413605

Dataset interval: 1994-01-01 17:53 -- 2009-12-31 12:37

Export database data: [\[with gaps unfilled\]](#) [\[with filled gaps \(note: unfilled gaps are possible!\)\]](#)

Export aggregated: hourly daily monthly yearly hydrolog. year
 sum average max min [download](#)

Show: [show plot](#)

Edit data

Change: [\[add data\]](#) [\[delete all data\]](#) [\[extend\]](#)

Figura 5: Manejo y visualización de las series temporales

Un conjunto de herramientas asociadas permitió visualizar estaciones vecinas (figura 6) y rellenar datos faltantes en las series según distintas funciones: Inverso de la distancia (IDW), Inverso de la distancia más regresión con la altura sobre el nivel del mar, Regresión lineal, Interpolación línea, Vecino más cercano, y Métodos externos definidos por el usuario. Para cada método se seleccionaron números de estaciones (mínimo y máximo) a tener en cuenta en el proceso, así como el coeficiente de determinación (R^2) mínimo aceptable para realizar una interpolación por regresión.

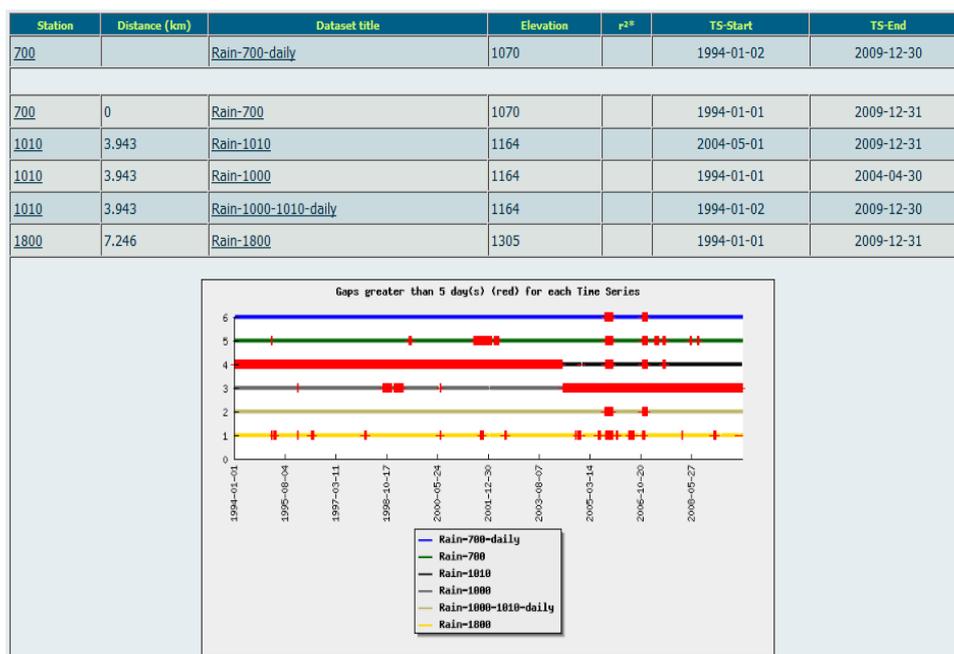


Figura 6: Síntesis del estado de las series temporales cercanas geográficamente, en rojo se señala las fechas en las que hay datos faltantes.

Otra funcionalidad muy útil del RBIS es la de exportar las series temporales. Cada una de ellas puede ser obtenida en su formato original, o puede generarse una nueva serie modificada según un objetivo particular. Los atributos que pueden manipularse son: Modificar la fecha de comienzo y de final, cambiar la resolución temporal agregando la serie en forma diaria, mensual o anual y en función de la media o la sumatoria, máximos y mínimos. El sistema también permitió que una serie temporal contenga más de un valor asociado a cada intervalo, posibilitando al usuario convertir la serie de una variable en una resolución temporal (por ejemplo: temperatura horaria) en una serie de dicha variable que contenga la media, mínima y máxima en intervalos temporales mayores (por ejemplo: temperatura diaria). Además de esta agregación temporal de la información, el RBIS permitió otro tipo de agregación que es particularmente útil para modelos de simulación: la agregación espacial. Con el sistema se pudieron generar salidas de datos donde el usuario especifica el espacio temporal y luego agrupa todos o algunos de los sensores pertenecientes a una cuenca o unidad cartográfica en especial. De esta manera se puede obtener, por ejemplo, un archivo que contiene la serie temporal de lámina de lluvia precipitada de todas las estaciones de la Cuenca del Río San Antonio. Esta información sirve directamente de entrada para un modelo hidrológico distribuido y continuo (JAMS - Jena Adaptable Modelling System) que se está implementando en esta región (García *et al.*, 2011; Teich *et al.*, 2011)

DISCUSIÓN

El sistema RBIS se encuentra actualmente en estado operativo para datos registrados por la red telemétrica de estaciones hidrometeorológicas del Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (CIRSA – INA) y ha demostrado ser robusto, útil para el manejo de series temporales y una gran asistencia para la construcción de bases de datos parciales para proyectos concretos. El RBIS supera en su funcionalidad a una base de datos convencional, ya que no solo almacena series de tiempo, sino que además permite procesarlas, obtener estadísticas, rellenar datos faltantes, y por sobre todo extraer datos con funciones de agregación (estadísticas y geográficas) para realizar modelos y simulaciones. RBIS se encuentra particularmente asociado a un sistema de modelos hidrológicos, JAMS, demostrando su potencial uso para asistir proyectos de investigación y desarrollo, Kralisch y Krause, 2006; Kralisch *et al.*, 2009.

Otra de las ventajas del RBIS sobre el uso de cualquier base de datos es su interface y su ubicación en un servidor. La interface de usuario del RBIS (web) es extremadamente simple, auto-explicada y fácil de utilizar, esto permite que usuarios sin ningún tipo de entrenamiento o conocimiento de cómo opera una base de datos puedan hacer uso del sistema. Al estar alojada en un servidor, puede ser accedida desde cualquier lugar del mundo por todos aquellos usuarios registrados. El sistema de control de acceso permite controlar el flujo de la información y los derechos de usuarios de una manera simple y eficaz. El RBIS puede funcionar en el ámbito de pequeñas y grandes instituciones públicas o privadas, así como en complejas redes inter-institucionales. Todo esto convierte al RBIS en una excelente herramienta para el manejo de información ambiental.

REFERENCIAS

- Flügel, W-A., 2007. The Adaptive Integrated Data Information System (AIDIS) for global water research. *Water Resources Management Journal*, 21, pp. 199-210
- García, C.L., Krause, P., García, C.M., Ravelo, A.C, y Flügel, W-A., 2011. Water availability for a growing population in the face of climate and land use change. En: *Research Award for Young Scholars 2011-“Adaptative Water Management: looking to the future”*. da Rocha Sampaio, R.S., Monjardim Barbosa, M., Iglesias Peralta, A. Editores FGV Direito RIO, pp. 79-94, ISBN 978-85-63265-16-6.
- ISO, International Standards Organization, 2003. International Standard ISO 19115 Geographic information – Metadata. Reference Number ISO19115:2003(E).
- ISO, International Standards Organization, 2009. International Standard ISO 19115-2 Geographic information - Metadata - Part 2: Extensions for imagery and gridded data. Reference Number ISO19115:2009(E).
- Jenerette, D.G., y Larsen, L., 2006. A global perspective on changing sustainable urban water supplies. *Global and Planetary Change*, 50, pp. 202-211.
- Kralisch, S., y Krause, P., 2006. JAMS - A Framework for Natural Resource Model Development and Application. *Proceedings of the iEMSs Third Biannual Meeting "Summit on Environmental Modeling and Software"*, Burlington.
- Kralisch, S., Zander, F., y Krause, P., 2009. Coupling the RBIS Environmental Information System and the JAMS Modelling Framework. *Proceedings of the 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation*. Cairns, Australia.
- LADA, Land Degradation Assessment in Drylands, 2011. *Evaluación de la desertificación en Argentina*. FAO, Buenos Aires, ISBN 978-92-5-306978-1.
- Teich, I., García, C.L., Swinnen, E., Tote, C., Planchuelo, A.M., Balzarini, M., 2011. Hydrological modeling to assess the link between water availability and vegetation growth. En: *Research Award for Young Scholars 2011-“Adaptative Water Management: looking to the future”*. da Rocha Sampaio, R.S., Monjardim Barbosa, M., Iglesias Peralta, A. Editores FGV Direito RIO, pp. 79-94, ISBN 978-85-63265-16-6.