



Sistemas de Previsión de Caudales Afluentes a la Central Hidroeléctrica Yacyretá a través de la Implementación de la Plataforma Delft-FEWS.

Yanet Cabrera¹, Andrés Graisaro², Lucas Chamorro¹

Entidad Binacional Yacyretá.

¹Paraguay, ²Argentina.

RESUMEN

La hidrología operacional de Yacyretá cuenta actualmente con tres sistemas de modelos de previsión de caudales afluentes para la toma de decisión: un modelo empírico OPEDIA, un modelo conceptual PRO-YACYRETA y un modelo conceptual en base HEC (softwares del Hidrologic Engineering Center - US Army Corps of Engineers), los cuales son alimentadas con información de diferentes fuentes y formatos. La necesidad de contar con un sistema hidroeinformático que integre de forma eficiente y versátil una gran variedad de datos hidrometeorológicos y operacionales, resultados de previsiones meteorológicas y los sistemas de modelos (hidrológicos, hidrodinámicos, ARMA, balances hídricos, regresiones) con el objeto de agilizar y optimizar las previsiones, la operación del embalse y las alertas aguas abajo, así como facilitar el monitoreo en tiempo real de las diversas variables hidrológicas y operacionales; lleva a la selección de la plataforma Delft-FEWS desarrollado por el instituto DELTARES, actualmente operativa a nivel regional para propósitos similares en las centrales hidroeléctricas de Salto Grande (Argentina-Uruguay) y CEMIG GT (Brasil). La implementación del sistema FEWS-Yacyretá se plantea en tres etapas complementaria cada una a su antecesora, actualmente, el proyecto se encuentra en la primera fase, la cual consiste en la configuración del Sistema de monitoreo y pronóstico bajo la modalidad “standalone” incluyendo las informaciones y modelos necesarios para la generación de la previsión de afluencia. Dará la oportunidad del empleo de una serie de resultados de modelos de previsiones de precipitación por conjunto o ensemble mejorando así las previsiones de caudales afluentes al incorporar análisis de incertidumbres en las previsiones meteorológicas.

PALABRAS CLAVES

Delft-FEWS, Previsión de Caudal Afluente, Yacyretá.



1 INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, ha sido realmente significativo el desarrollo de las comunicaciones, de la informática y de las ciencias, técnicas y tecnologías asociadas al monitoreo, simulación y predicción de los fenómenos hidrometeorológicos. Esto ha posibilitado generar e incorporar una gran variedad de herramientas, de múltiple complejidad, que dan respaldo técnico a las decisiones y tareas inherentes a la hidrología operacional de Yacyretá.

A pesar de la disponibilidad de grandes conjuntos de datos, modelos meteorológicos, hidrológicos e hidrodinámicos con tecnología de punta, la utilización conjunta de los mismos en toda la cadena operacional no es tradicionalmente utilizada, debido a la incompatibilidad de salidas y entradas de datos y dificultades de los procesamientos de las informaciones en un sistema que deba operar en tiempo real de forma rápida y segura (Gibertoni et al., 2017).

De un relevamiento internacional, para resolver parte de éstas dificultades, fue seleccionado el Sistema Delft-FEWS, desarrollado por el instituto DELTARES de Holanda, con el objeto de agilizar y optimizar las previsiones, la operación del embalse y las alertas aguas abajo, así como facilitar el monitoreo en tiempo real de las diversas variables hidrológicas y operacionales.

2 SISTEMAS ACTUALES DE MODELOS DE PREVISIÓN.

2.1 OPEDIA.

OPEDIA es un programa desarrollado por el Sector Hidrología, en planillas de cálculo, con automatización de procesos mediante programación. En él se integran todas las tareas de rutina referidas a la operación integral del embalse de Yacyretá. Incluyendo: previsión de afluencias, operación el embalse propiamente dicha, gestión de la información recopilada y redacción y envío de informes vía e-mail.

En OPEDIA la previsión de afluencia se realiza considerando los datos y pronósticos de la cuenca superior (ríos Paraná e Iguazú), para luego, mediante una correlación de las lecturas de escalas situadas entre Posadas e Iguazú definir los caudales ingresantes al embalse, ponderando los aportes laterales de la cuenca intermedia calculados por otras herramientas.

La operación hidroenergética del embalse implica, a partir del balance del embalse del día anterior y de la previsión de afluencias, analizar las distintas estrategias operativas posibles, para finalmente programar con la estrategia adoptada, respetando siempre las normas operativas y restricciones vigentes.

La gestión de la información comprende la carga de datos recopilados de distintas fuentes, generación de nuevos datos a partir de los análisis realizados y el almacenamiento de todos estos en la base de datos correspondiente.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

La elaboración de informes se realiza conforme a plantillas normalizadas que se envían vía e-mail.

2.2 PRO-YACYRETA II.

Es un producto desarrollado por la empresa EVARSA. Se compone por una red hidrometeorológica y un sistema de pronóstico de caudales y niveles aguas arriba de Yacyretá.

La red hidrometeorológica está formada por estaciones remotas distribuidas en toda la cuenca de aporte inmediato a Yacyretá que registran la evolución de las variables de interés, disponiendo esta información en una base de datos dentro de un servidor localizado en la CHY.

El software de pronóstico ProYacyretá II toma como inputs estos datos, que en conjunto con los pronósticos de descarga de las centrales de aguas arriba de Yacyretá, y los diferentes pronósticos de precipitaciones permite realizar un pronóstico de afluencias y niveles.

La modelación hidrológica se realiza en un modelo de simulación por eventos en HEC-HMS. Este aplica como método de pérdidas el SCS Curve Number, transforma la precipitación excedente mediante Clark Unith Hydrograph y computa el flujo base por el método de Recession.

La componente hidrodinámica es simulada en KANALI.

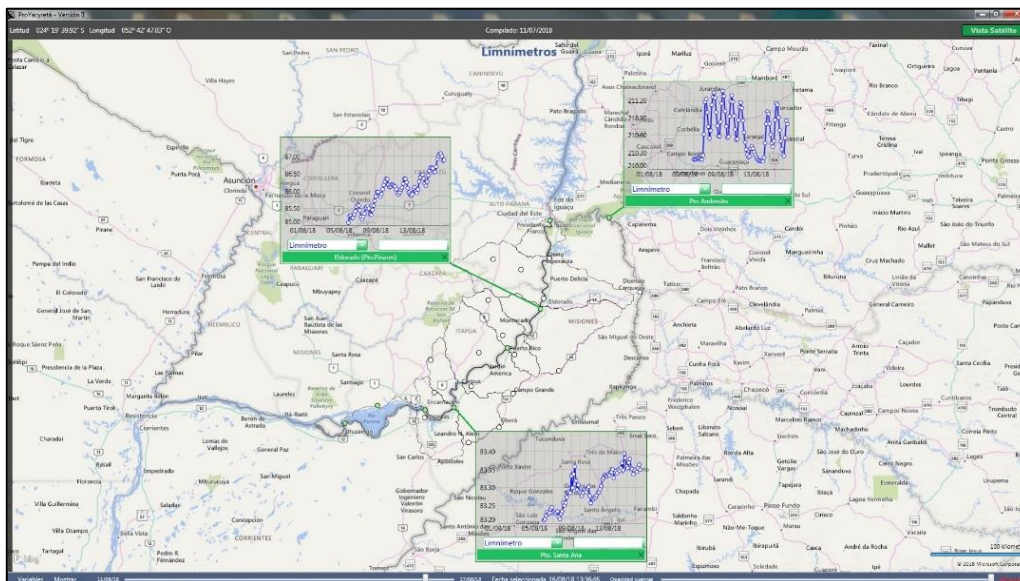


Figura 1. Vista del Sistema PRO-YACYRETA.

2.3 Modelos Desarrollados con Software HEC.

Actualmente toda la información que sea necesaria suministrar a estos modelos se gestiona íntegramente en planillas de cálculo para luego ser exportada en formato compatible con HEC mediante el uso del complemento DSS-Excel.

- **Modelo de Caudales Afluentes al embalse de Yacyretá.**

Consiste en un modelo que combina HEC-HMS con HEC-RAS.

En HEC-HMS se calculan los caudales incrementales generados en cada una de las 65 unidades de análisis (subcuencas) en las que se divide la cuenca no regulada de aporte a Yacyretá. Se hace una corrida para cada uno de los escenarios de lluvia que deseen analizarse.

Los inputs necesarios para este modelo consisten en un hietograma para cada subcuenca asociado a cada una de las corridas a realizar.

El modelo hidrológico aplica a cada subcuenca métodos de cálculo de intercepción por la vegetación, de retención superficial, de pérdidas en los diferentes estratos subsuperficiales compatible con análisis de seguimiento continuo (SMA), de transformación de la precipitación excedente, de flujo base acoplado al método de pérdidas, y de pérdidas por evapotranspiración.

Los hidrogramas de aporte provenientes de las subcuencas calculados en HEC-HMS, son considerados en el modelo hidrodinámico en HEC-RAS como inyecciones laterales a lo largo del cauce del Paraná e Iguazú inferior.

HEC-RAS se encarga de simular el traslado de los caudales provenientes de las centrales inmediatas aguas arriba de Yacyretá, Itaipú (Paraná) y Salto Caxias (Iguazú) a los cuales les va incorporando los aportes generados dentro de las subcuencas. Se hace una simulación para cada uno de los escenarios considerados en el modelo hidrológico.

Los inputs necesarios son las descargas de las centrales aguas arriba (Itaipú y Salto Caxias) y como condición de borde aguas abajo se adopta el nivel del embalse.

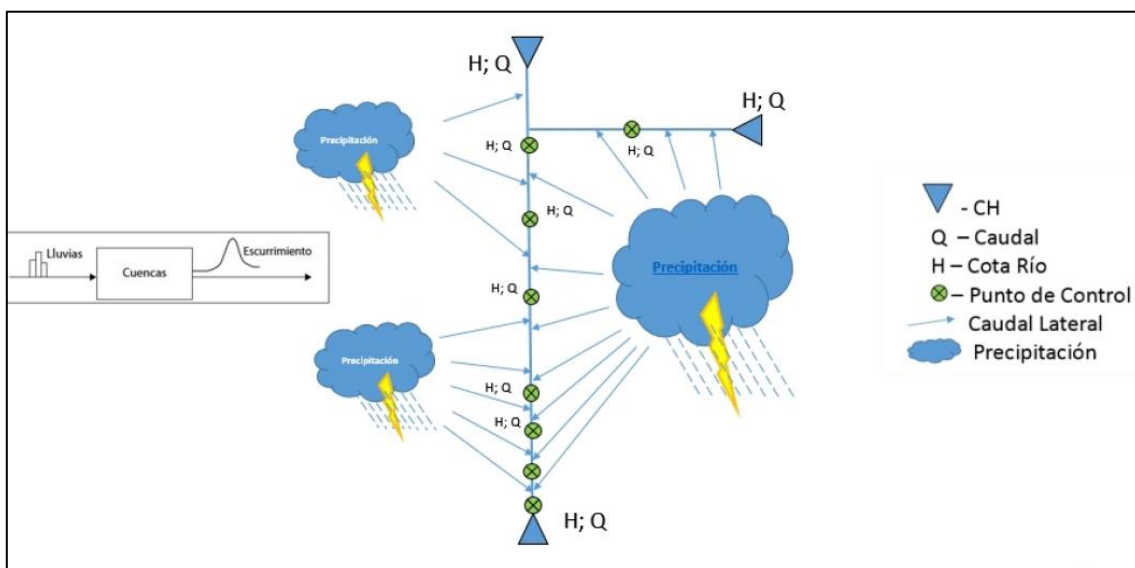


Figura 2. Esquema Unifilar de Modelo de Caudales Afluente Hidrológico-Hidrodinámico, en base HEC.

- **Modelo de Pronostico de Niveles aguas abajo de Yacyretá.**

Se trata de un modelo hidrológico unidimensional de brazos múltiples desarrollado en HEC-RAS. Tiene el propósito de simular los niveles que se alcanzarán en los distintos puntos de interés aguas abajo de la central considerando un determinado plan de descargas de caudales.

Los inputs que considera son el caudal por el Brazo Principal (turbinado + vertido), caudal por el vertedero del Brazo Aña Cuá, y un nivel pronosticado mediante una regresión en la última sección del modelo.

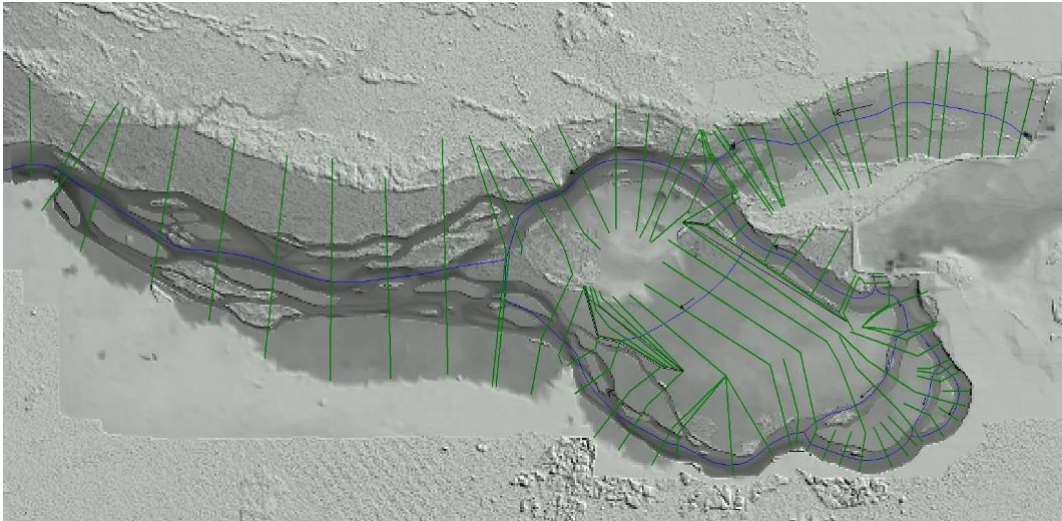


Figura 3. Esquema en planta del Modelo de Aguas Abajo de la CHY.

3 PLATAFORMA DELFT-FEWS.

La plataforma de pronóstico operacional Delft-FEWS, desarrollado por el instituto DELTARES, ha sido aplicado en más de cuarenta centros operativos (Werner et al., 2013). Vinculando datos y modelos en tiempo real, y produciendo pronósticos diariamente. Constituye, en algunos casos, un elemento básico de sistema de previsión nacional en todo el país utilizando la tecnología cliente-servidor; en otros, es aplicada a una escala mucho más pequeña en una estación de trabajo de escritorio, proporcionando previsiones para una sola cuenca (Werner et al., 2013).

A nivel regional para propósitos similares el sistema Delft-FEWS está actualmente operativo en las centrales hidroeléctricas de Salto Grande (Argentina-Uruguay) y CEMIG GT (Brasil). Según Werner et al. (2017), los pronósticos hidrológicos de los caudales afluentes al embalse de Salto Grande (datos multi-nacional y modelos hidrológicos) y modelo de optimización de la operación de embalse (generación hidroeléctrica, inundaciones aguas abajo) están integrados en el sistema Delft-FEWS. Según Gibertoni et al. (2017), el sistema FEWS-CEMIG fue desarrollado con miras en la operación de reservorios en tiempo real, con foco en control de crecidas de 11 usinas hidroeléctricas de CEMIG GT.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Delft-FEWS esencialmente es una sofisticada colección de módulos, cuya filosofía de diseño es la de proporcionar una plataforma a través de la cual se puede desarrollar una aplicación de pronóstico operacional específica según los requerimientos de una individual organización (tailor-made). Ha sido aplicado en una amplia gama de diferentes situaciones operativas; por ejemplo, en previsiones de calidad de agua, manejo de reservorios y optimización operacional de la gestión de alcantarillado.

Una de las características clave del sistema es su flexibilidad en la integración de modelos y datos (de terceros), y se destacan los enfoques disponibles para vincular modelos y acceder a los datos.

En la Figura 4 se muestra la posición de Delft-FEWS dentro de la estructura esquemática de un sistema de previsión.

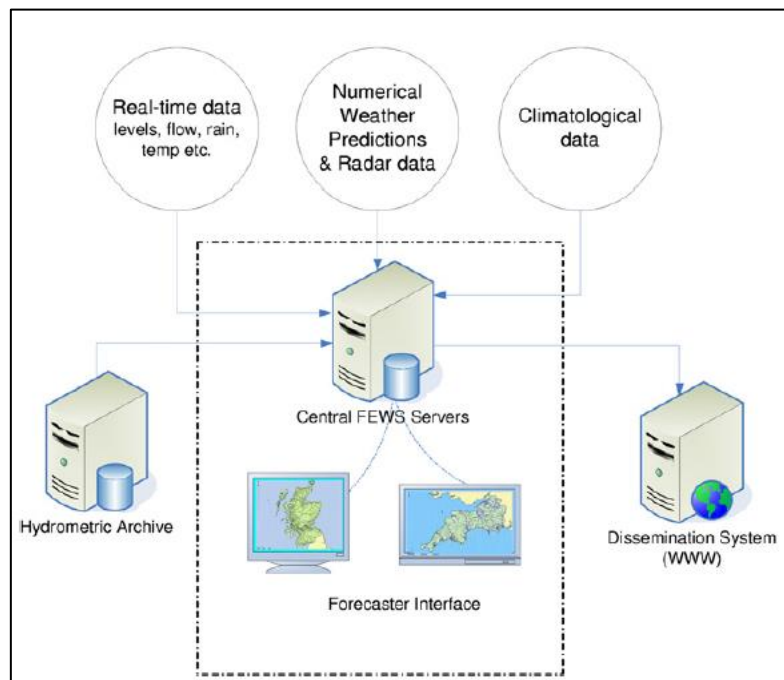


Figura 4. Estructura esquemática de un Sistema de Pronóstico de Inundaciones, mostrando la posición de Delft-FEWS y enlaces a otros sistemas primarios dentro del entorno operacional. Fuente: Werner et al., 2013.

Está desarrollado en JAVA. Es de uso libre y de código base no completamente abierto. Deltares también ofrece servicios de soporte y mantenimiento relacionados con el software Delft-FEWS.

4 METODOLOGÍA

El proyecto de implementación de la plataforma Delft-FEWS, que consta de tres fases, consiste en adaptarla a las necesidades de la hidrología operacional de Yacyretá y a la gestión integral de su información y procesos.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Actualmente se encuentra en la fase 1 (fase Piloto), la cual consiste en la configuración del Sistema de Monitoreo y Pronóstico bajo la modalidad “standalone” incluyendo las informaciones y modelos necesarios para la generación de la previsión de afluencia.

Desde la fase 2 se pasará de un sistema tipo “standalone” a un sistema tipo Cliente-Servidor. En las fases 2 y 3 se pretende el desarrollo operacional completo del sistema FEWS-Yacyretá, así como, mejoras en la integración de modelos y datos más avanzados con el fin de innovar y mejorar el servicio de pronóstico hidrológico y la operación del embalse.

Cada etapa posterior a la primera es complementaria de su antecesora, y para obtener el producto final deseado es necesaria la materialización de todas y cada una de ellas.

En la Figura 5 se muestra a modo de ejemplo una vista actual del sistema FEWS-Yacyretá en la modalidad standalone, donde se observan los resultados de previsiones de precipitación para un momento dado.

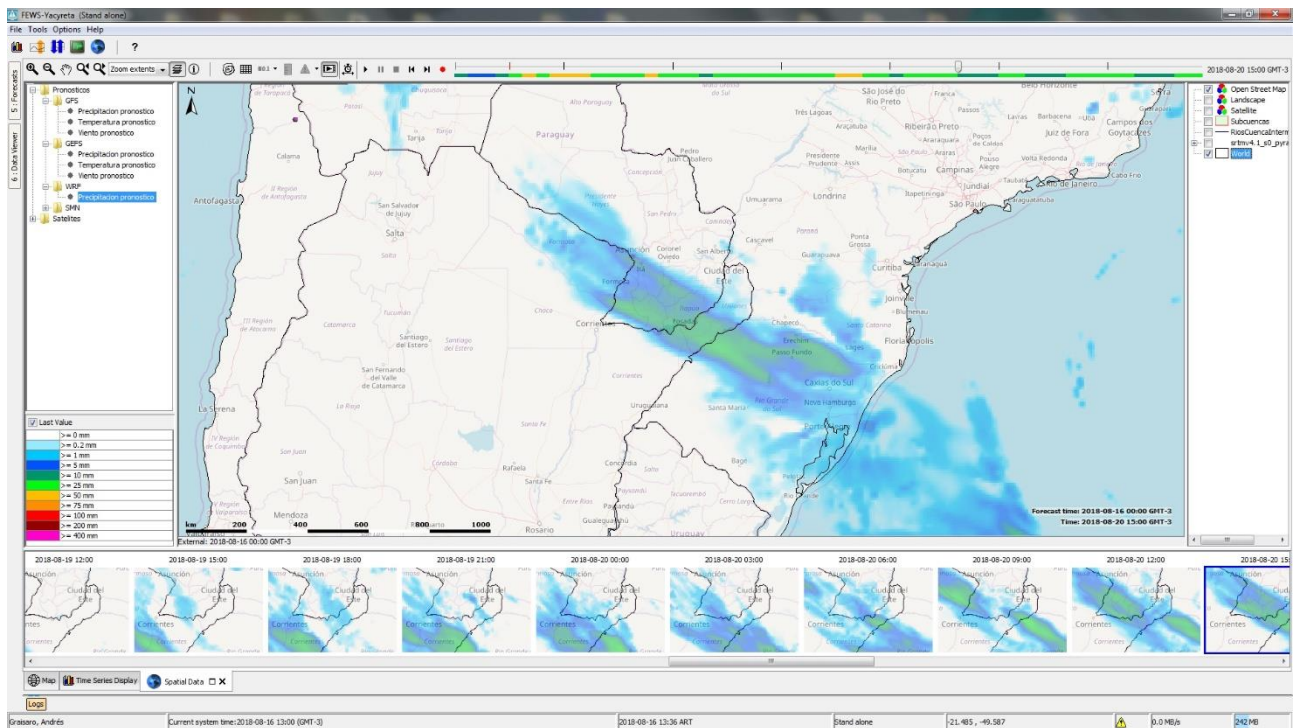


Figura 5. Vista del Sistema FEWS-Yacyretá (standalone).



5 CONCLUSIONES

Con la elaboración del proyecto se pretende integrar los sistemas actuales de monitoreo y modelos, pero también proporcionar una plataforma que permita innovar y mejorar el servicio de pronóstico hidrológico a través de modelos y datos más avanzados; como ser, entre otros, de previsiones meteorológicas por conjunto o ensemble, pronósticos estacionales y modelos de optimización de la operación del embalse.

Uno de los beneficios prácticos que se busca es la de reducir esfuerzos operacionales, dejando más tiempo disponible para la elaboración, evaluación y finalmente la elección de estrategias operacionales.

Así mismo, dará oportunidad al empleo de una serie de resultados de modelos de previsiones de precipitación por conjunto o ensemble mejorando así las previsiones de caudales afluentes al incorporar análisis de incertidumbres en las previsiones meteorológicas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Werner, J. Schellekens, P. Gijbers, M. van Dijk, O. van den Aker, K. Heynert. "The Delft-FEWS Flow Forecasting System". Environmental Modelling & Software 40, 2013, Elsevier Ltd: 65-77.
- [2] Micha Werner. "El pronóstico hidrológico en el siglo XXI: pronósticos probabilísticos a corto y mediano plazo hasta pronósticos estacionales, y su uso para el apoyo de la toma de decisiones y el control operacional de los recursos hídricos". Foro Internacional Gestión del Riesgo en Centrales Hidroeléctricas, Noviembre 2017.
- [3] Rosana de Fátima Colaço Gibertoni, João Paulo Jankowski Saboia, Rubem Luiz Daru, Akemi Kan, Bernardo Lipski, Ana Paula Oening, Daniel Henrique Marco Detzel, Dirk Schwanenberg, Jan Talsma, Alberto Assis dos Reis. "Desenvolvimento de um Sistema de Previsão de Vazões e Operação de Reservatórios através da Plataforma Delft-Fews". XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, Noviembre 2017.