

# XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA CORDOBA 2000

## EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN INTEGRADA DE SISTEMAS HÍDRICOS MULTIPROPÓSITO

Oscar Raúl Dölling<sup>1</sup> y Eduardo Varas Castellón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Univ. Nacional de San Juan - [odolling@unsj.edu.ar](mailto:odolling@unsj.edu.ar)

<sup>2</sup> Dpto. de Ing. Hidráulica y Ambiental, Pontificia. Univ. Católica de Chile - [evaras@ing.puc.cl](mailto:evaras@ing.puc.cl)

### RESUMEN

Se presenta el uso de la simulación de procesos como apoyo a la toma de decisiones estratégicas en el manejo de cuencas hidrográficas con sistemas de distribución de agua multipropósito. Se describe la construcción de un modelo de simulación dedicado a la distribución espacial y temporal de agua en un sistema hídrico multipropósito, es decir energía, riego, abastecimiento de agua potable y usos industriales en la cuenca del Río San Juan.

Este trabajo demuestra como puede aprovecharse la simulación continua del sistema real, para realizar un exhaustivo análisis de las alternativas de gestión, a partir de la partición del sistema en procesos y subprocesos que interactúan en forma jerárquica, la inclusión de restricciones de operación y la parametrización de un subespacio de reglas de operación, permitiendo al gestor encontrar un conjunto de reglas de explotación que otorgue al sistema ciertas garantías, fijadas como objetivos de explotación, sobre su capacidad de recuperación en situaciones de fallo y sobre las magnitudes y duraciones de dichos fallos.

Se concluye que una correcta aplicación de las técnicas de simulación continua, aporta a la ingeniería de los recursos hídricos un rico espectro de posibilidades tanto para aquéllos que deseen realizar el diseño y planificación de sistemas hídricos complejos, como para aquéllos que tengan a su cargo la toma de decisiones estratégicas en cuencas con sistemas hídricos multipropósito.

### ABSTRACT

This paper presents the use of process simulation as a convenient decision support tool for the operation of a complex water resource system with multiple objectives. The construction of a simulation model for San Juan River basin is presented.

Simulation of a real system can be used to perform a detailed analysis of different operation alternatives. Expressing operation rules in a parametric form, helps the manager to find a set of rules which fulfill objectives of reliability, severity and duration of irrigation deficits.

Results show that the use of simulation provides water resources engineers with a rich spectra of possibilities for planning and operating complex water resources systems with multiple objectives.

## INTRODUCCIÓN

El manejo integral de cuencas ha sido objeto de estudio desde los años '70 ,cuando se comienzan a desarrollar y aplicar técnicas analíticas que permiten considerar conjuntamente la totalidad de los elementos de un problema y sus interacciones, usando técnicas de ingeniería de sistemas (Hall y Dracup, 1970). Numerosos han sido los enfoques matemáticos y estadísticos utilizados para desarrollar modelos de gestión operativa del recurso agua. Estos estudios dieron lugar a diversos planteamientos matemáticos del problema cuya resolución se afrontó por simulación y métodos de optimización directa.

La modelación y la simulación de alternativas de operación permite predecir los resultados de la implementación de ciertas acciones en el sistema; entender porqué ocurren los eventos observados; explorar los efectos de las políticas alternativas introducidas al sistema, evaluar ideas e identificar ineficiencias o fallas del sistema bajo distintos escenarios de oferta y de demanda de agua; ganar experiencia en el manejo del sistema y simular ideas creativas para solucionar problemas específicos y obtener información para el diseño óptimo de infraestructura hidráulica (Dölling y Varas, 2000).

En casos complejos, la aplicación de procedimientos de optimización analítica directa posee un alto riesgo de aplicación, ya que no es posible definir funciones objetivos, las cuales representen adecuadamente todos los objetivos en una sola expresión matemática. Este problema se ha visto superado con la aparición del desarrollo de técnicas en el campo de la ingeniería de sistemas capaces de crear complejos modelos de Sistemas hídricos y dar solución a problemas no estructurados (Loucks y R.da Costa, 1991; Seeger, 1987).

Por lo general la mayoría de las decisiones a nivel operacional son altamente estructuradas. En cambio las de nivel estratégico son no estructuradas, o bien semi-estructuradas y pertenecen a aquel grupo que deben ser manejadas por expertos, ya que la decisión involucra aspectos subjetivos, buen juicio, etc. En este último caso, la idea de un sistema de computación disponible que entregue "la solución" está siendo sustituida por una estructura denominada Sistema de Apoyo a la toma de Decisión también conocida como Decisión Support Systems (DSS) (Soncini-Sessa et al, 1991), en el cual la persona encargada de tomar la decisión maneja un set de herramientas computacionales que aprovecha para encontrar él mismo "su propia solución" (South Florida Water Management District, 1987; Loucks, 1990; Simonovic y Savic, 1989).

Numerosos son los estudios realizados en todo el mundo tendientes a definir el conjunto de reglas de operación óptimas para distintos sistemas de embalses (en serie o en paralelo) con múltiples propósitos. Sin embargo cuando los sistemas hídricos se tratan desde una perspectiva integrada al entorno de la cuenca donde están insertos, los esfuerzos por lograr una generalización de reglas de gestión deben ser reemplazados por la búsqueda de soluciones dinámicas que permitan adaptarse a los cambios que el sistema sufre en forma permanente.

El concepto de parametrización de reglas (Nalbantis y Koutsoyiannis, 1997) unido a la evaluación de indicadores de comportamiento del sistema tales como los de probabilidad de fallo, resiliencia y vulnerabilidad ayudan a encontrar aquel conjunto de parámetros que cumple con las garantías de explotación fijadas por el gestor del sistema para el horizonte de explotación definido.

## FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA. NECESIDADES.

El motivo central de este trabajo es avanzar en el conocimiento sobre la potencialidad que tienen las técnicas de simulación continua en el desarrollo de modelos capaces de representar sistemas complejos de distribución de agua multipropósito destinados a apoyar las tareas de gestión del recurso para distintos horizontes de explotación. Con el fin de demostrar tal potencialidad se centró el interés en aplicar estas técnicas a resolver un problema concreto, para lo cual se seleccionó al sistema de distribución de aguas multipropósito proyectado para el río San Juan, Argentina.

El Sistema del río San Juan está conformado por numerosas obras de infraestructura hidráulica (sobre todo en los Valles de Tulúm, Ullum y Zonda), tendientes a lograr un desarrollo socioeconómico, promoviendo las áreas con tierras aptas para el cultivo. Entre dichas obras podemos mencionar a la presa embalse Quebrada de Ullum con una capacidad máxima de  $440 \text{ Hm}^3$ , la impermeabilización de 1100 km de canales de riego, la construcción y puesta en funcionamiento de 220 pozos oficiales, la construcción de 630 km de drenes colectores principales y actualmente en proceso de construcción las presas de embalse Caracoles y Punta Negra con una capacidad de almacenamiento entre ambas de  $1.050 \text{ Hm}^3$  que transformarán el sistema actual según se indica en la Figura 1. Sin embargo, a pesar de todas las inversiones realizadas, no se ha logrado aumentar el desarrollo de la forma esperada. Solo el 2,4% de la superficie provincial es apta para el cultivo esto significa 218.649 has. en las que es posible desarrollar alguna actividad agrícola. De éstas están empadronadas, es decir con derecho a riego, 160.000 has. De estas 160.000 has se cultivan en la actualidad solo 67.000 has.

El río San Juan (de régimen nival, esto es caudales máximos en verano y mínimos en invierno) descarga sus aguas en el dique embalse de Ullum, lo que permitiría regar la totalidad del valle de Tulum, Ullum Zonda. La cuenca de agua subterránea del Valle del Tulum posee una superficie de 78.300 ha y se extiende entre las sierras pampeanas (Sierra de Pie de Palo) al este y la precordillera (Sierra del Villicum y Zonda) al oeste. En los ciclos secos la cuenca de agua subterránea podría aportar el volumen necesario para el desarrollo de los cultivos mediante la utilización de un importante número de perforaciones (unas 8000 privadas con un caudal de entre  $100 - 150 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y 118 perforaciones oficiales localizadas en lugares estratégicos (en condiciones de aportar un caudal de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Actualmente, cuando el caudal del río no es suficiente, se efectúa, un bombeo intensivo y el nivel de agua subterránea desciende por debajo de la profundidad de los filtros, mientras que otros pozos surgentes dejan de serlo. La recarga natural del acuífero se efectúa principalmente en la zona bajo riego y en el cauce del río San Juan en el tramo comprendido entre el Dique Ignacio de la Roza y el Puente de Albardón. Por otro lado, en época de abundancia de aguas, la cuenca Subterránea suele colmatarse, afectando grandes áreas con niveles freáticos menores de 2 m, con una tendencia progresiva en el tiempo de áreas con anegamiento y consecuente salinización de suelos.

Este conjunto de falencias en el área de gestión del sistema hídrico ha causado una disminución de más de un 20 % de la superficie cultivada en el valle, respecto a censos anteriores a 1980. Los problemas descritos se deben, en una pequeña proporción, a la falta de inversiones en la infraestructura de riego y drenaje, pero en gran medida a la falta de un sistema adecuado que apoye la gestión de operación del sistema tal como se encuentra. Es necesario entonces, construir un sistema computacional que sirva, a las personas encargadas del manejo del recurso hídrico del sistema del río San Juan, para evaluar en forma rápida y precisa distintas alternativas de gestión del sistema sometido a diferentes escenarios hidrológicos y de demanda presentes y futuros

## OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO

El objetivo principal es demostrar la potencialidad del uso de la técnica de simulación de procesos continuos como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el manejo integral de cuencas hidrográficas.

Para lograrlo se propuso desarrollar, un modelo de simulación continuo dedicado a la distribución espacial y temporal de agua en la cuenca del río San Juan la cual posee propósitos múltiples, es decir energía, riego, abastecimiento de agua potable y usos industriales. El modelo debe contemplar que las decisiones se tomen a partir de los pronósticos de oferta y demanda del recurso agua, del conocimiento de los distintos elementos involucrados en el sistema, de sus relaciones e interacciones espaciales y temporales y del marco regulatorio que rige el ámbito del sistema hidrológico. Además el modelo deber ser capaz de explorar la dinámica del sistema para analizar el efecto que las modificaciones introducidas producen en el comportamiento del mismo para descubrir así los factores controlables con mayor impacto en el resultado (Dolling y Varas 2000) . Dichas modificaciones deben incluir la capacidad de incorporar embalses en serie a los ya existentes, según el esquema conceptual presentado en la Figura

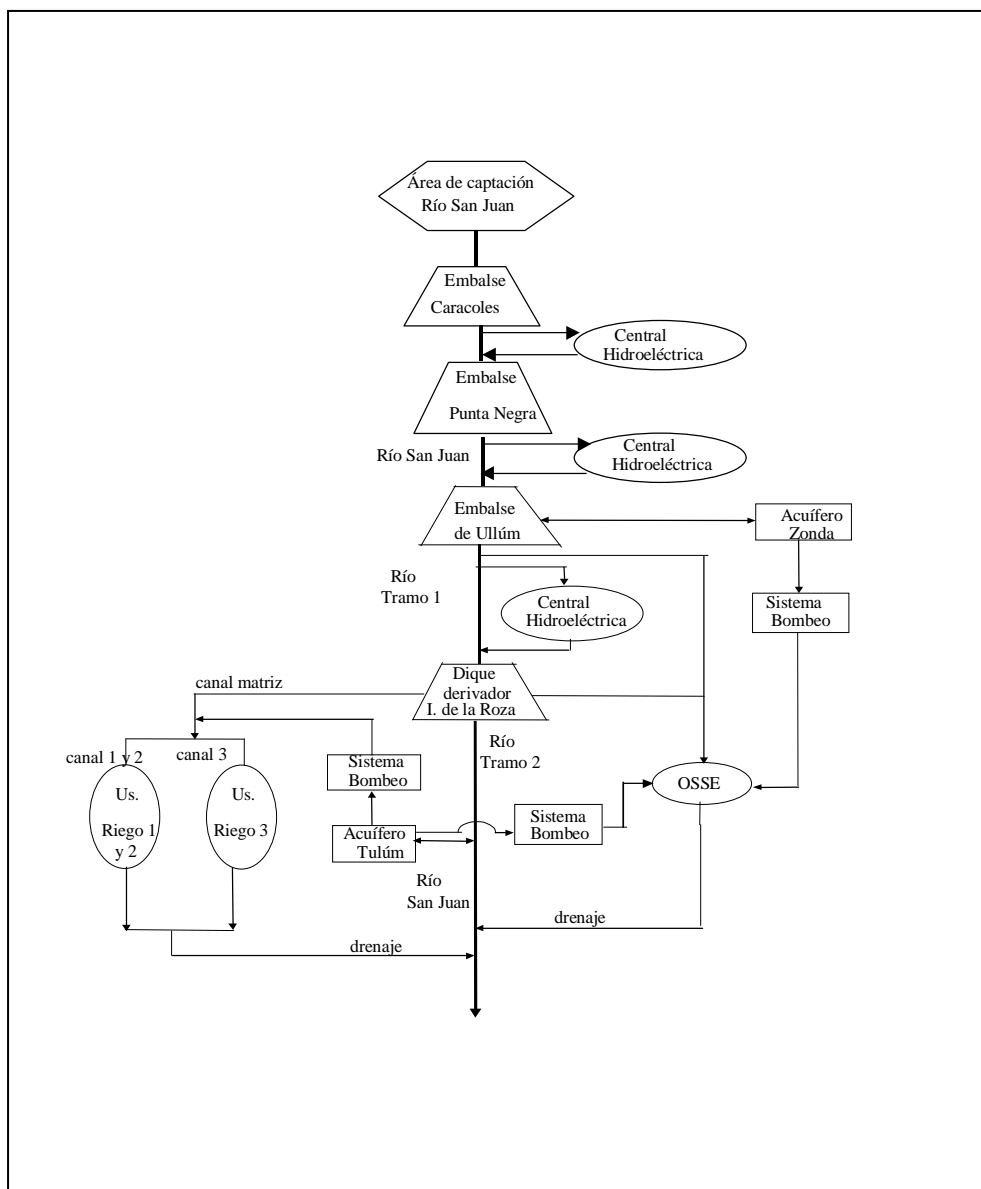
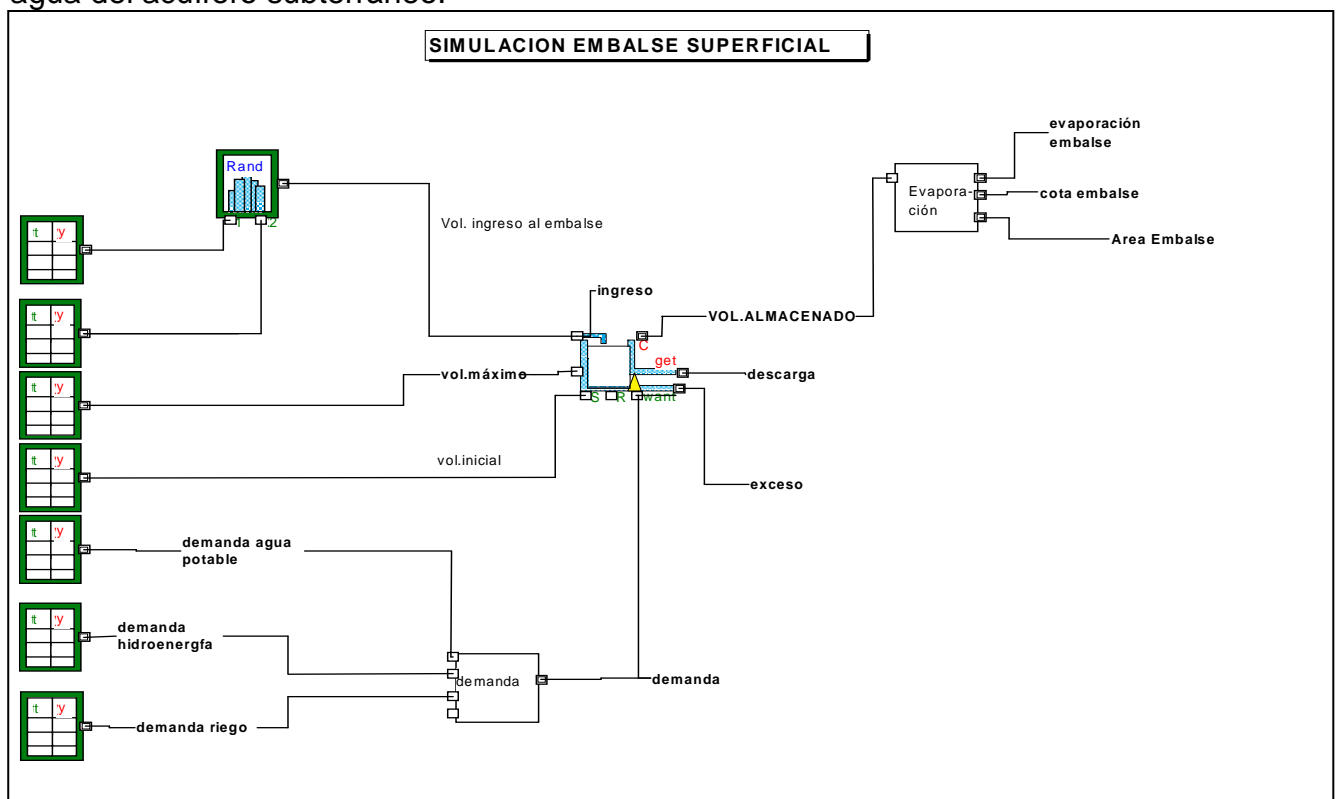


Figura 1 Diagrama del sistema físico futuro del río San Juan

## DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.

Una opción válida para la evaluación de políticas de gestión del uso conjunto de sistemas de aguas superficiales y subterráneas de alto grado de complejidad, son los modelos de simulación continua que permiten simular los procesos en tiempo real, estructurados en forma de bloques jerárquicos, que representan al sistema real completo subdividido en distintos procesos y subprocesos, otorgando la capacidad de evaluar un gran número de posibles soluciones sin necesidad de sacrificar los detalles. Este tipo de estructura jerárquica puede actuar como filtro, dejando pasar solo aquellas soluciones que se aproximen al óptimo para ser analizadas mas en detalle (Jamieson, 1973).

Dado el objetivo planteado se decidió utilizar el ambiente de simulación de procesos Extend, el cual permite elaborar modelos continuos de sistemas complejos, permitiendo simular las distintas políticas de operación del sistema de aprovechamiento y distribución de agua, bajo distintos estados de las variables iniciales y distintos pronósticos probables de las variables de ingreso y de demanda de agua en la cuenca, introduciendo elementos tales como embalses en serie, sistemas de riego superficial y sistemas de bombeo de agua del acuífero subterráneo.



**Figura 2:** Modelo de Simulación de un embalse superficial en ambiente EXTEND

El ambiente de simulación EXTEND está orientado a objetos, lo cual demostró ser una excelente herramienta computacional, que ayudó a crear adecuadamente los modelos dinámicos de procesos en tiempo real, estructurados en forma de bloques jerárquicos representando al sistema real completo subdividido en distintos procesos y subprocesos.

Un modelo EXTEND (figura 2) es un documento que contiene componentes, llamados bloques, usualmente con conexiones entre ellos. Cada bloque contiene información procedural tal como datos de ingreso, reglas y consignas operativas, parámetros del modelo, ecuaciones que representan las relaciones entre variables, etc. Después de crear un modelo, éste se puede modificar agregando bloques, moviendo conexiones y cambiando los bloques de datos. Los modelos desarrollados pueden ser corridos en

modo continuo, de eventos discretos, lineales, no lineales y sistemas de modo combinado. Posee un lenguaje de programación similar al C++ con el cual se pueden desarrollar nuevos bloques o modificar los existentes, tal como se hizo con el bloque simulador de embalses.

## **RESULTADOS ALCANZADOS**

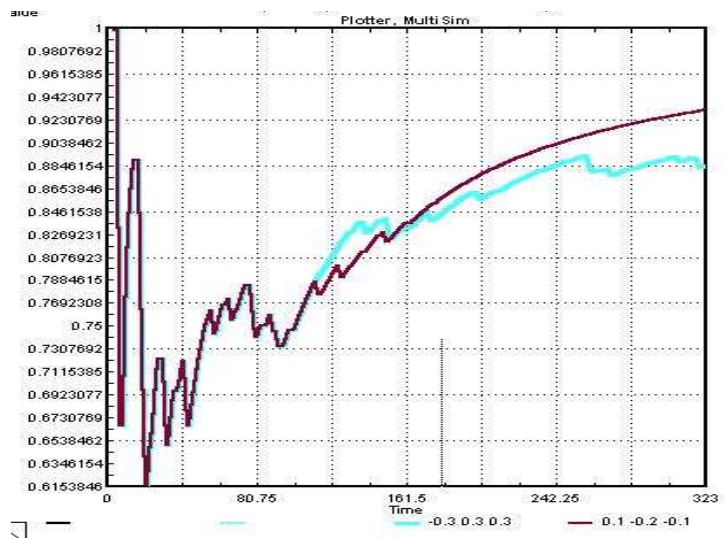
La gestión estratégica de los sistemas hídricos puede enfocarse de distintas formas según se centre la atención hacia la mitigación de eventos extremos como son las sequías o las crecidas hidrológicas, o bien puede centrarse la atención en mejorar la administración del agua en épocas de características hidrológicas normales.

Las reglas de operación de sistemas de recursos hídricos sirven de guía para la toma de decisiones durante la explotación del sistema. El uso de una u otra regla es determinante para el rendimiento del sistema, por lo que constituye un elemento esencial de la explotación.

Debe destacarse que no existen reglas o estrategias de gestión universales para el manejo de los recursos hídricos, sin embargo algunas reglas pueden ser extrapolables de sistemas con topologías y propósitos similares. En el caso analizado las reglas a incluir se basaron en la topología del sistema en estudio y el análisis de experiencias previas, como las de Lund y Guzmán, (1999; Morel- Seytoux, (1999; Belaineh et al, (1999); Soncini-Sessa et al, (1991); Díaz, (1997); Mendoza et al, (1998); López Camacho y Varela Sanchez, (1983). Esto permitió realizar en un paso posterior, la síntesis del sistema, es decir, que para diversas alternativas posibles se determinaron, empleando los modelos elaborados en el paso anterior, las medidas de efectividad establecidas en el paso de medición del sistema (V.Gerez y M. Grijalva, 1993).

Entre las reglas de gestión deterministas para sistemas de múltiples embalses con objetivos múltiples, existen tres tipos de reglas, las reglas de operación Normal, reglas de operación Conservadora y reglas de operación Arriesgada. Para analizar las consecuencias de la adopción de la mejor alternativa de un grupo de alternativas posibles se deben calcular índices de garantía asociados a cada alternativa de gestión.

Durante la explotación de los sistemas hídricos, puede darse inevitablemente situaciones en las que no sea posible satisfacer adecuadamente los usos establecidos. Al estado de no-satisfacción de un uso, o de una condición, se le suele denominar "fallo". Se presentó como necesidad entonces, que el modelo de simulación incluyera índices de evaluación del fallo del sistema. Los índices que evalúan el fallo operacional en un Sistema de Recursos Hídricos son: la frecuencia de fallo para satisfacer la demanda establecida, la duración del fallo y la severidad del mismo. Estos índices permiten medir la garantía de las políticas de operación a largo plazo durante la etapa de planificación del sistema y el riesgo en la etapa de explotación. En el caso presentado se implementaron en el modelo de simulación continua distintos índices de la garantía del sistema los cuales están orientados a representar las tres características básicas: ocurrencia o Riesgo de fallo, duración del fallo o Resiliencia y severidad del fallo o Vulnerabilidad.



**Figura 4:** Evolución temporal del valor de resiliencia del sector riego para 2 reglas de descarga distintas de los embalses en serie Caracoles-Punta Negra-Ullum.

En la Figura 4 se puede observar un gráfico de la evolución temporal del índice de Resiliencia del sistema para el sector Riego, para un horizonte de explotación de 323 meses y para distintas alternativas de operación de los embalses en serie, obtenidas por parametrización de las reglas de descarga de cada embalse.

Una vez que el gestor ha definido los valores objetivo de los índices de garantía mencionados, es necesario que cuente con herramientas adecuadas para guiarlo en la búsqueda de aquel conjunto de reglas de operación más adecuado para el horizonte de explotación que se está analizando, los caminos para realizar tal búsqueda no son únicos. En este trabajo se propone como metodología de búsqueda de los parámetros la siguiente:

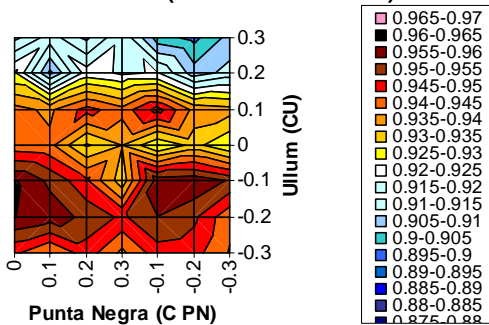
- 1- Fijar aquellas consignas operativas que se mantendrán inalterables durante la simulación, por tratarse de objetivos o restricciones rígidas del sistema. Este conjunto de reglas impone al sistema una franja de operación satisfactoria, reduciendo el espacio de búsqueda a un subespacio de reglas parametrizadas.
- 2- Parametrizar un subconjunto de reglas de operación del sistema que permita adaptar al sistema a la variabilidad propia de la oferta y las demandas de agua, en este trabajo se parametrizaron solo las reglas de descarga de los tres embalses en cadena para el caso en que la oferta superara a la demanda (es decir se parametrizaron las reglas de la estación de llenado). La parametrización consistió en transformar la ecuación que define el valor del desembalse en cada embalse según:

$$Des(i) = Dem(i) + [C(i) \times Vdisp(i)]$$

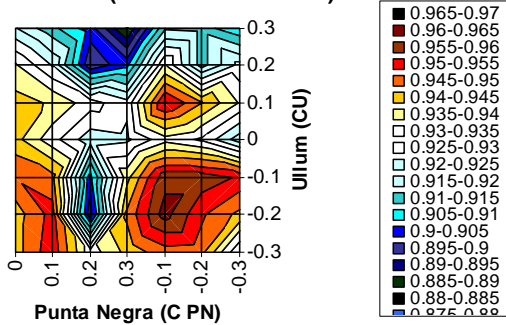
donde  $i$  = identifica al embalse,  $Des(i)$  es la descarga del embalse  $i$ ,  $Dem(i)$  la demanda de agua al embalse  $i$ ,  $Vdisp(i)$  es el volumen disponible en el embalse  $i$  y  $C(i)$  el parámetro a ajustar para calcular la descarga del embalse ( $i$ ).

- 3- Analizar en primer lugar la variación del índice de resiliencia en función de los parámetros de las reglas de operación (Fig 5) para el horizonte de tiempo requerido (por ejemplo 323 meses en este trabajo)
- 4- Identificar la regla o reglas de operación con el valor de resiliencia más cercano al objetivo. Seleccionar aquellos parámetros que dentro de este conjunto de reglas minimicen la severidad de las fallas o índice de vulnerabilidad del sistema para el uso definido.

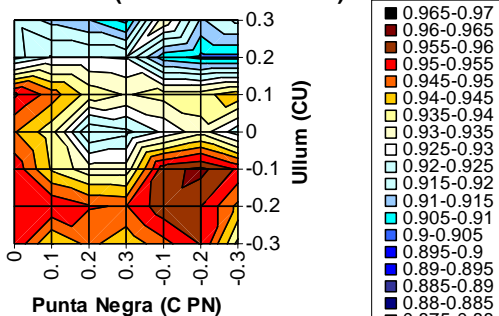
Superficie de Resiliencia (Caracoles CC= - 0.3)



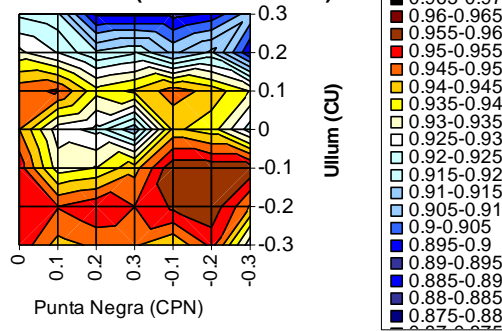
Superficie de Resiliencia (Caracoles CC= - 0.2)



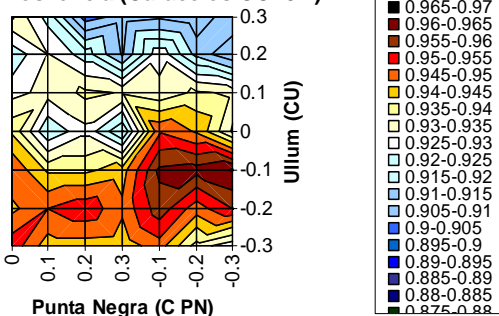
Superficie de Resiliencia (Caracoles CC= - 0.1)



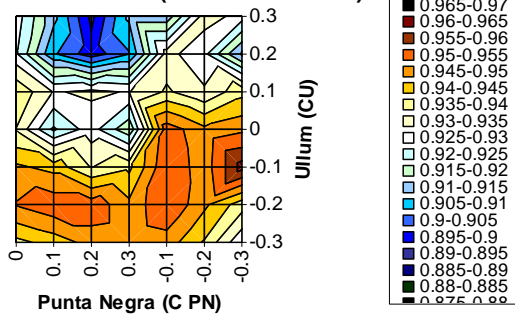
Superficie de Resiliencia (Caracoles CC=0)



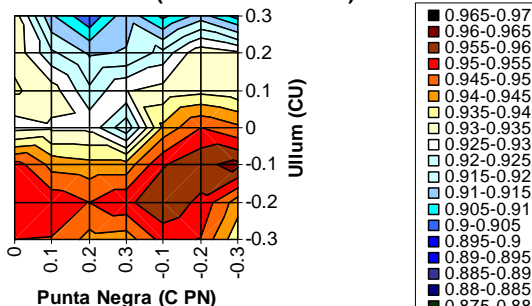
Superficie de Resiliencia (Caracoles CC=0.1)



Superficie de Resiliencia (Caracoles CC=0.2)



Superficie de Resiliencia (Caracoles CC=0.3)



**Figura 5:** Diagramas de Resiliencia del sector de riego para un horizonte de planificación de 323 meses en función de los parámetros de las reglas de descarga CC(Caracoles CPN (Punta Negra) y CU (Ullum)).

En la Figura 5 se presenta un análisis de la variabilidad del valor de la resiliencia para uno de los usuarios del sistema (sector riego). Cada diagrama representa las curvas de nivel de una superficie de resiliencia generada a partir de la variación de los parámetros de las reglas de operación de los embalses de Punta Negra y de Ullum, dado un parámetro de operación fijo para la regla de descarga del embalse Caracoles ubicado aguas arriba de



los otros dos (ver fig 1). Los parámetros de las reglas de operación se variaron en el rango entre  $-0.3$  y  $0.3$  siendo el valor  $0$  el representativo de la situación en que los embalses se operan de tal forma de entregar exactamente el valor de la demanda. Los valores negativos de los parámetros, indican que el embalse entrega menos volumen que el que le es demandado por el sistema y los valores positivos de los parámetros corresponden a entregar agua por sobre la demanda que el sistema solicita del embalse.

Los diagramas presentados (Fig 5) sintetizan la información generada por el modelo de simulación para un espacio de 343 reglas distintas derivadas de la variación de los parámetros de las ecuaciones del volumen de descarga para los embalses de Caracoles, Punta Negra y Ullum, para un horizonte de gestión de 323 meses.

## CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en esta aplicación para el sector de riego del sistema hídrico del río San Juan se puede concluir lo siguiente:

- Entregar menos agua que la demandada en el embalse Caracoles (CC entre  $-0.3$  y  $0$ ) origina en el diagrama (Fig 5) áreas de elevada resiliencia con una mayor extensión que para los casos en que se descarga de Caracoles más agua que la demandada a dicho embalse (CC entre  $0$  y  $0.3$ ). Esto coincide con la regla conceptual general de llenar primero los embalses aguas arriba durante la estación de llenado que es la que se está analizando en este caso (Lund y Guzmán, 1999).
- Cuando en el diagrama (Fig 5) las áreas con elevados índices de resiliencia son de mayor extensión son situaciones deseables de mayor robustez pues un cambio en la política de descarga de alguno de los embalses no produce un impacto significativo en la capacidad de recuperación del sistema a largo plazo.
- Los mayores valores de resiliencia en todos los casos se encuentran en la región donde los parámetros de la ecuación de descarga de Punta Negra y Ullum están entre ( $-0.1$  y  $-0.2$ ) Esto indica que el sector de riego tendría mayor capacidad de recuperación a largo plazo ante sucesivos estados de fallo, reservando agua en los embalses de Punta Negra y de Ullum.
- En el caso de pretender descargar del embalse Caracoles mayor volumen que el demandado, por ejemplo con el fin de aumentar la producción del sector energético, lo ideal desde el sector de riego es que dicho volumen de agua quede almacenado en los embalses de Punta Negra y Ullum tal como lo demuestra el hecho de que el máximo valor de resiliencia ( $0.9652$ ) fue encontrado para el conjunto de parámetros  $CC=0.1$ ,  $C\ PN= -0.3$  y  $CU= -0.1$ .
- Realizar descargas exactamente iguales al volumen demandado en cada embalse para el horizonte de gestión analizado es una estrategia de operación que coloca al sector de riego en situación de poca capacidad de recuperación en el largo plazo, en el caso de entrar en falla, lo cual no es deseable, sin embargo las políticas de racionamiento dan buen resultado a largo plazo.
- No existe una relación lineal entre los índices de garantía (frecuencia de fallos) resiliencia (capacidad de recuperación del estado satisfactorio) y vulnerabilidad (severidad de falla). De hecho si el sistema es fiable y resiliente tiene más probabilidad de ser vulnerable a fallas de gran magnitud.
- Una regla de operación realista puede indicar que la mejor alternativa es buscar alta garantía, resiliencia moderada y mínima vulnerabilidad. El sistema desarrollado demuestra ser lo suficientemente útil para apoyar al gestor del sistema a encontrar aquellas estrategias de operación que consiga satisfacer los valores deseados para cada uno de estos índices de comportamiento del sistema, sin necesidad de escatimar

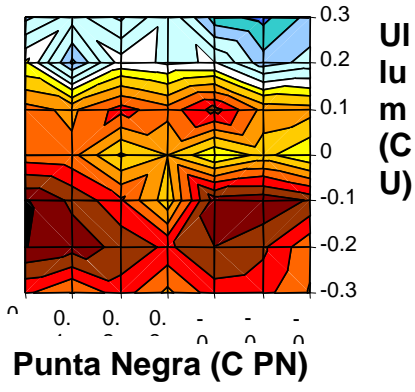
en los detalles en la modelación matemática de cada uno de los procesos que intervienen en el sistema.

Como conclusión final se puede indicar que la simulación de procesos continuos unido a los conceptos de parametrización de reglas y asociada a la capacidad de visualización de índices probabilísticos de comportamiento tales como los de frecuencia de fallos, resiliencia y vulnerabilidad, permite a los encargados de la explotación de sistemas hídricos complejos, como también a los usuarios de los mismos, contar con potentes herramientas de apoyo a la gestión y utilizarlas en el diseño de estrategias de anticipación en la explotación y planificación de estos sistemas.

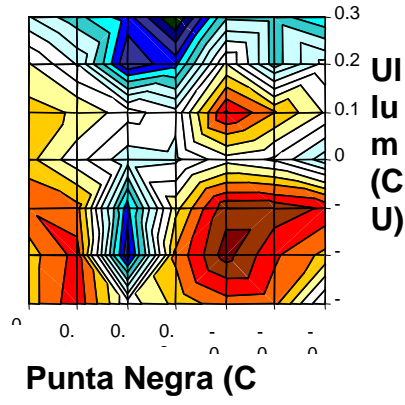
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) -BELAINEH G., PERALTA R.C. Y HUGHES T.C. (1999) "Simulation/Optimization Modeling for Water Resources Management". Journal of Water Resources Planning and Management / May/June pages 154-161.
- (2) DIAZ G.E. y BROWN T. (1997) "AQUARIUS: A Modeling System for River Basin Water Allocation". USDA Forest Service. General Technical Report RM-GTR-299 /September.
- (3) DÖLLING O. y VARAS E. (2000) "Operación de sistemas de recursos de agua multipropósito usando un modelo de simulación de procesos". Ingeniería Hidráulica en México Vol. XV, numero 2/mayo-Agosto 2000 en imprenta.
- (4) GEREZ V. y GRIJALVA M. (1988). *El enfoque de Sistemas*. Editorial limusa/ Mexico Tomos I al VIII.
- (5) HALL, W.A. y J.A. DRACUP, *Water Resources Systems Engineering*. McGraw Hill C., New York, 1970.
- (6) JAMIESON D.G. (1973). "Recent Developments in Water Quality Modelling". Symposium on the Use of Mathematical Models in Water Pollution Control, Newcastle-upon-Tyne.
- (7) LOPEZ CAMACHO Y CAMACHO B. y VARELA SANCHEZ M. (1983) "El modelo de Utilización Conjunta de la Provincia de Madrid". Curso sobre Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas – Valencia-Castellón de la Plana /Abril.
- (8) LOUCKS D.P. y DA COSTA J.R. (1991). "Decision Support Systems". Water Resources Planning . NATO ASI Series. Springer-Verlag. Berlin.
- (9) LOUKS D.P. (1990). *IRIS: An Interactive River System Simulation Program. User Manual*. HASA, Laxenburg, Austria.
- (10) LUND J.R. y GUZMAN J. (1999) "Derived Operating Rules for Reservoirs in Series or in Parallel". Journal of Water Resources Planning and Management /May/June pages. 143-153.
- (11) MENDOZA R., DOMÍNGUEZ R., CONTRERAS C. (1998) "Determinación de políticas de operación de un sistema de presas en serie". IAHR –AMH- XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Oaxaca, México/ Octubre.
- (12) MOREL-SEYTOUX H.J. (1999) "Optimal Deterministic Reservoir Operations in Continuous Time". Journal of Water Resources Planning and Management /May/June pages. 126- 134.
- (13) NALBANTIS I. Y KOUTSOYIANNIS D., 1997 "A parametric rule for planning and management of multiple reservoir systems." Water Resources Research. Vol. 33, No 9 pages 2165-2177. September.
- (14) SEEGER D. (1987). "Optimization of reservoir Systems by Simulation" Second Chinese-German Symposium on Hydrology and Coastal Engineering - Paper N°H9.
- (15) SIMONOVICH P. y SAVIC D.A. (1989). "Intelligent Decision Support and Reservoir Management and Operation". J. of Computing in Civil Engineering, 3(4), pp. 367-380.
- (16) SONCINI SESSA R., ZULETA J. y PICCARDI C. (1991). "Remarks on the Application of Risk-Averse Approach to the Management of "EL Carrizal" Reservoir". Advances Water Research.
- (17) SOUTH FLORIDA WATER MANAGEMENT DISTRICT (1987). "OASIS. The South Florida Water Management District's Operations Artificial Intelligence Program". District Brochure.

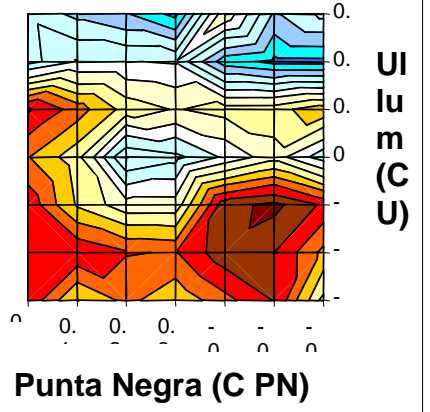
(Caracoles CC= -



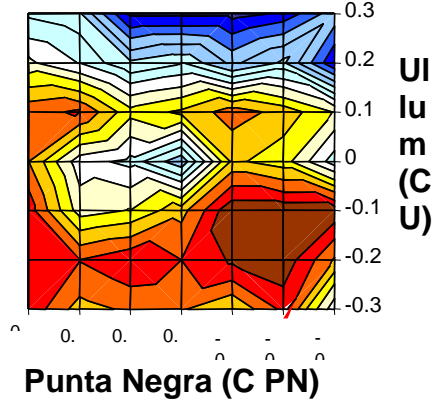
(Caracoles CC= -



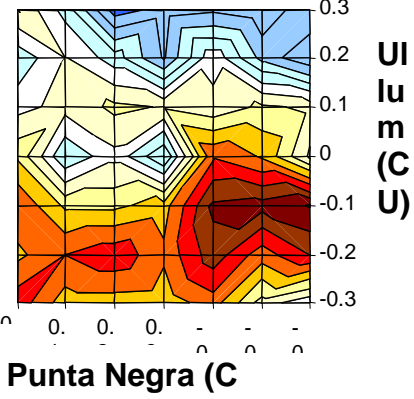
(Caracoles CC= -



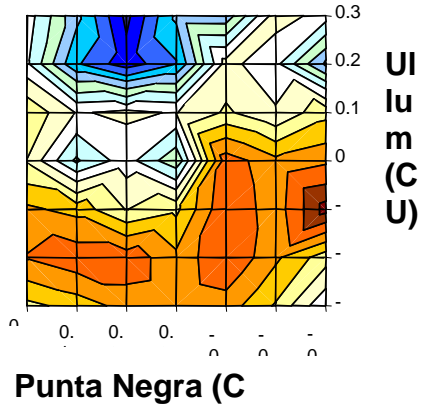
(Caracoles



(Caracoles



(Caracoles



(Caracoles

