

Un modelo de optimización para el sistema de recursos hidráulicos superficiales Júcar-Turia^(*)

Los modelos matemáticos constituyen útiles herramientas de planificación y gestión hidráulica, cada vez más necesaria por la creciente amplitud y complejidad de las demandas de agua. En el artículo se presenta un modelo de optimización para la gestión del sistema superficial Júcar-Turia y su uso como elemento de filtrado de alternativas y para fijación de reglas de gestión del sistema hidráulico.

Por **JOAQUIN ANDREU ALVAREZ**

Doctor Ingeniero de Caminos.
Profesor Titular de Obras Hidráulicas,
ETSICCP de la Universidad Politécnica de Valencia.

JAIME GOMEZ HERNANDEZ

Ingeniero de Caminos.
Ayudante de Investigación en la
ETSICCP de la Universidad Politécnica de Valencia.

JUAN MARCO SEGURA

Doctor Ingeniero de Caminos.
Profesor Titular de Hidráulica,
ETSICCP de la Universidad Politécnica de Valencia.

INTRODUCCION

A medida que los sistemas de recursos hidráulicos se van sometiendo a un espectro cada vez mas amplio de demandas y necesidades, la determinación de la forma en que han de gestionarse se va volviendo más complicada y actualmente ya es inevitable el tener que recurrir a los modelos matemáticos como herramientas auxiliares de la planificación y gestión hidráulicas.

En este sentido, para sistemas complejos, y a pesar del gran avance de la informática, todavía es imposible la creación de un modelo que reproduzca exactamente el sistema real en todos sus aspectos y que, además, determine la gestión óptima del mismo para una situación dada. Parece más recomendable utilizar análisis jerárquicos de los sistemas y utilizar de una forma combinada simulación y optimización aprovechando las ventajas de cada una de estas técnicas. Así, los modelos de optimización pueden ser utilizados con concepciones simplificadas del sistema para «filtrar» alternativas que después pueden ser evaluadas con más detalle con modelos de simulación.

Esta es la metodología usada en el estudio realizado por la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Valencia en el marco del convenio «Modelo Matemático de Simulación para el sistema hidrográfico conjunto de los ríos Júcar y

Turia» con la Dirección General de Obras Hidráulicas.

En lo que sigue se presenta la confección de un modelo de optimización a nivel normal para la gestión del sistema superficial Júcar-Turia y su uso como elemento de filtrado de alternativas y de reglas de gestión que posteriormente fueron comprobadas y refinadas mediante el uso de un modelo de simulación mucho más detallado del sistema. Este último modelo no es descrito en este artículo.

El modelo de optimización está basado en un algoritmo para la optimización de redes de flujo conservativas y, como más adelante se expone, presenta unas ventajas que lo hacen especialmente adaptado para problemas de gestión de recursos superficiales. Asimismo, si se le utiliza de la forma adecuada, permite abordar problemas de objetivos múltiples como es el caso real que se expone y al que ha sido aplicado.

También se exponen las reglas de gestión obtenidas a partir del análisis de los resultados del modelo.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

En esencia, el sistema de recursos superficiales Júcar-Turia está formado por dos ríos principales, el Júcar y el Turia, unidos por un trasvase del primero al segundo.

La cuenca del río Júcar cuenta con dos em-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 28 de abril de 1986.

balses de importancia, el de Alarcón, de 1.112 Hm³ de capacidad, y el de Contreras, con 880 Hm³ de capacidad, y situado en el afluyente río Cabriel. Existe la posibilidad de construir un tercer embalse de importancia, el embalse de Tous, con unos 400 Hm³ de capacidad, ya al final del tramo medio del río Júcar, cuya finalidad principal sería la de control de avenidas. Además existen otros embalses de menor importancia y el proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico Cortes-La Muela incluye un embalse de 116 Hm³.

Los recursos totales del río Júcar en Tous se estiman en 1562 Hm³/año, mientras que en cola de embalse de Alarcón son de 511 Hm³/año y en cola de Contreras (río Cabriel) son de 509 Hm³/año.

La cuenca del río Turia, por su parte, cuenta con un solo embalse de importancia, el del Generalísimo, con 228 Hm³ de capacidad. Los recursos totales del Turia se estiman en 461 Hm³/año, mientras que en el embalse del Generalísimo son de 336 Hm³/año. Además está el embalse de Loriguilla, de 70 Hm³ de capacidad.

El trasvase Júcar-Turia tiene una capacidad máxima de 32 m³/seg., que se reduce a 28 m³/seg. pasado el río Magro y a 19 m³/seg. en el último tramo desde Torrente hasta Valencia.

La demanda total de agua en el sistema se evalúa en 1.118 Hm³/año, de los cuales 861 Hm³/año son para usos agrícolas y 257 Hm³/año son para uso urbano e industrial.

Conviene destacar que se trata de un sistema multiuso o multipropósito, en el que confluyen las siguientes necesidades principales:

- Control de crecidas, lo cual obliga a un resguardo en embalses. El embalse más marcado por este uso sería el de Tous.

- Producción de energía hidroeléctrica, la cual es de mayor «calidad» si los caudales son regulares y dentro de los rangos útiles de las centrales. Dichas centrales son casi todas de tipo fluyente, con canal y depósito de carga, y situadas principalmente en un tramo del río Júcar que en lo sucesivo denominaremos «tramo hidroeléctrico».

- Suministro de agua para necesidades ur-

banas industriales y agrícolas, fundamentalmente para estas últimas.

Evidentemente, se trata de usos conflictivos del agua, pues el resguardo para crecidas obliga a no utilizar toda la capacidad reguladora del embalse, lo cual va en detrimento de cualquiera de los otros dos usos, y por otra parte, la demanda de energía eléctrica y de agua para riego y usos urbanos no coinciden en sus distribuciones a lo largo del año, con lo cual muchas veces el uso de agua para producción eléctrica implica que ésta se pierda para el suministro, y viceversa.

La situación expuesta se complica adicionalmente si se considera que la situación hidráulica de la Provincia de Alicante es precaria, y que cabe pensar en un auxilio proveniente desde la cuenca del Júcar. Por otra parte, el desarrollo de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de la Mancha Oriental, con unas extracciones superiores a los 100 Hm³/año pueden disminuir las aportaciones del río Júcar al constituir las descargas de dicho acuífero parte fundamental del caudal de base del río.

OBJETIVOS DE LA OPTIMIZACION

Del estudio de estos usos conflictivos, se ha llegado a la conclusión de que las preguntas a las que debía de dar respuesta el modelo de optimización eran las siguientes:

¿Cuál es el máximo caudal mínimo mensual que puede garantizarse en el tramo hidroeléctrico?

¿Qué valor de ese caudal puede garantizarse en el tramo hidroeléctrico sin que se produzcan déficits en las zonas de demanda?

¿Cómo han de gestionarse los embalses para los caudales anteriores?

Estas mismas preguntas se formulan además multiplicadas por las diferentes hipótesis estructurales y de evolución de demandas y aportaciones consideradas y que se definen a continuación:

- Hipótesis I. Corresponde a la situación de infraestructura actual, suponiendo que el embalse de Tous está reconstruido, y con una capacidad de 400 Hm³. Incluye todas las demandas agrícolas, y la demanda de la ciudad de Va-

lencia con un valor de 3 m³/seg., pudiendo ser indistintamente abastecida por el Canal J. T. o por el Turia. No se consideran la demanda de la Central Nuclear de Cofrentes ni el posible trasvase a la cuenca del Vinalopó. (El estudio se efectuó antes de la puesta en marcha de la C. Nuclear).

— Hipótesis II. Es la ampliación de la Hipótesis I con la demanda de la Central Nuclear de Cofrentes y con la demanda de la ciudad de Valencia aumentada a 7,2 m³/seg., suponiendo además que este último abastecimiento ha de realizarse como mínimo con 6 m³/seg. de agua del Júcar.

— Hipótesis III. Supone que la aportación intermedia del Júcar se ve disminuida en 200 Hm³ por año debido a la afección al caudal de base del río por los bombeos en el acuífero de Albacete. Quedan modificados, por tanto, los datos de aportaciones en ese sentido. Por lo demás, las demandas se mantienen como en la Hipótesis II.

— Hipótesis IV. Igual que hipótesis II, pero además añadiendo un trasvase de 120 Hm³/año a la cuenca de Vinapoló, tomados en cola del embalse de Tous.

— Hipótesis V. Igual que hipótesis III, pero además añadiendo el mencionado trasvase del Vinapoló.

ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

Como ya se ha mencionado anteriormente, al ser el proceso de optimización un proceso laborioso, no conviene incluir en el modelo todos los detalles del sistema, sino que conviene realizar previamente un análisis del sistema físico real a fin de determinar los elementos que deben incluirse necesariamente en el modelo y cuales, por no ser trascendente su inclusión detallada, pueden omitirse o agregarse. El producto de este análisis es un esquema simplificado del sistema real que seguirá manteniendo las características esenciales de este último.

Fundamentalmente las decisiones más importantes se refieren a la inclusión y agregación de:

- zonas de uso de agua.
- embalses.
- aportaciones al sistema.

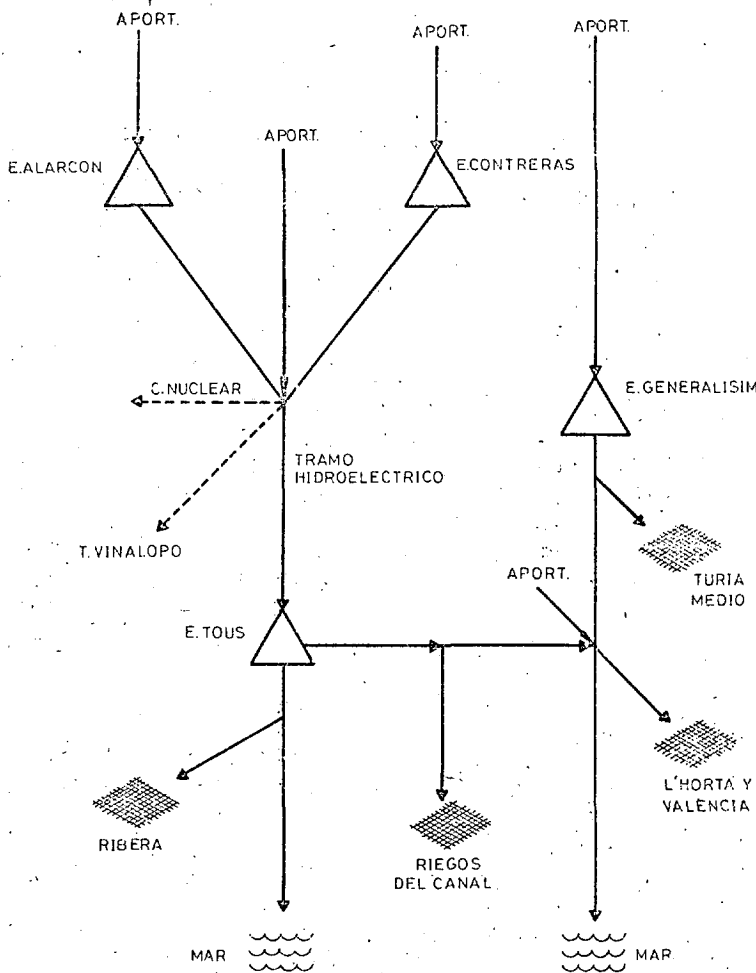


Figura 1.—Esquema simplificado del sistema real.

El esquema adoptado finalmente es el que puede verse en la figura 1, y que consta de los siguientes elementos:

- Embalse de Alarcón en el río Júcar.
 - Embalse de Contreras en el río Cabriel.
 - Embalse de Tous en el río Júcar.
 - Embalse del Generalísimo en el río Turia.
- Este elemento resulta de la agregación de los embalses del Generalísimo y de Loringuilla.
- Aportación en cola de Contreras (río Cabriel).
 - Aportaciones en cola de Alarcón (río Júcar).
 - Aportaciones en cola del Generalísimo (río Turia).
 - Zona de demanda agregada de la Ribera del Júcar.
 - Zona de demanda agregada de los riegos del Canal Júcar-Turia.

CUADRO n.º 1

CARACTERISTICAS DEFINITORIAS DE LOS ELEMENTOS DEL ESQUEMA SIMPLIFICADO

Tipo	Nombre	Característica definitoria
Embalse	Alarcón	1.112 Hm ³ de capacidad
Embalse	Contreras	880 Hm ³
Embalse	Tous	400 Hm ³ de capacidad
Embalse	Generalísimo	298 Hm ³ de capacidad (+ Loriguilla = 70 Hm ³)
Trasvase	Júcar-Turia	máx 39 m ³ /seg. Tramo I
		28 m ³ /seg. Tramo II
		19 m ³ /seg. Tramo III
Demanda	L'Horta	332 Hm ³ /año (actual)
Demanda	Turia Medio	453 Hm ³ /año (futura)
Demanda	Turia Medio	178 Hm ³ /año
Demanda	Zona Canal J-T	87 Hm ³ /año
Demanda	Ribera	613 Hm ³ /año
Demanda	C. N. Cofrentes	31 Hm ³ /año (futura)(*)
Demanda	Trasvase Vinalopó	120 Hm ³ /año (futura)

(*) Cuando se elaboró el estudio, la C. N. de Cofrentes no funcionaba a pleno rendimiento.

- Zona de demanda agregada del Turia Medio.
- Zona de demanda agregada de Valencia, que incluye la Huerta y la Ciudad.
- Aportación Intermedia al río Turia, localizada en Manises.
- Canal Júcar-Turia, dividido en dos tramos.
- Toma para trasvase al Vinalopó.
- Toma para Central Nuclear de Cofrentes.

Se incluyen además las conexiones entre elementos. Como puede observarse, no se han incluido en el esquema embalses menores, ni azudes. En el estudio en base a valores mensuales estos elementos no serían significativos.

Las características definitorias de estos elementos están reflejadas en el cuadro n.º 1.

Para una mayor simplificación no se han tenido en cuenta factores tales como evaporación y filtración de embalses, retornos de riego, etc. Todos ellos serán incluidos en el modelo de simulación a la hora de validar las reglas de gestión.

EL MODELO DE OPTIMIZACION

Teniendo en cuenta el esquema simplificado del sistema y utilizando la terminología del análisis de sistemas, las variables de estado a con-

siderar son:

- Volumen de embalse de Alarcón.
- Volumen de embalse de Contreras.
- Volumen de embalse de Tous.
- Volumen de embalse de Generalísimo.

y las variables de decisión son:

- Desembalse en Alarcón.
- Desembalse en Contreras.
- Desembalse en Tous.
- Desembalse en Generalísimo.
- Caudal en tramo hidroeléctrico.
- Suministros a demanda Ribera.
- Suministros a la demanda de la zona del Canal Júcar-Turia.
- Suministros a demanda Valencia, procedentes del Turia.
- Suministros a demanda Valencia, procedentes del Júcar.
- Suministros a Turia Medio.
- Suministros a C.N. de Cofrentes.
- Suministros a trasvase Vinalopó.

para cada intervalo de tiempo (cada mes) en que se divide el período a optimizar.

Tenemos 4 variables de estado y 12 variables de decisión por intervalo de tiempo. Se descartó, pues, la posibilidad de utilizar programación dinámica y se decidió usar programación lineal.

A la vista del sistema, con una configuración

muy similar a la de un problema de transporte, se optó por utilizar un procedimiento de optimización de red de flujo. Como veremos más adelante, esto facilita la posibilidad de contemplar prioridades en el suministro, y en los objetivos mediante la inclusión de unos «costes» ficticios de cada una de las variables de decisión. Además, para la optimización de redes de flujo hay un algoritmo denominado de «out-of-kilter» (1), que es de una eficiencia considerable. De hecho, es superior para este tipo de problemas a otros algoritmos tradicionalmente utilizados en programación lineal, como el «simplex».

En esencia el algoritmo optimiza (minimiza) el coste del transporte de flujo a través de una malla formada por arcos y nodos con unos costos asignados al flujo unitario por los arcos. Los nodos son neutros, esto es, no hay sumideros ni fuentes, y los arcos admiten restricciones en cuanto a flujo máximo y mínimo.

Para su aplicación hay que configurar el esquema del sistema como una red de flujo a base de nodos y arcos. Algunos nodos y arcos corresponden a elementos físicos reales. Además se hace necesaria la introducción de nodos y arcos ficticios para la adaptación del sistema a nodos neutros y para ligar dos intervalos de tiempo consecutivos y transmitir las variables de estado.

En definitiva, el resultado de la adaptación del esquema al sistema para la optimización a través de M intervalos mensuales será una red de flujo con M repeticiones de un esquema mensual que se reproduce en la figura n.º 2, conectadas entre sí por los nodos comunes de Balance y Déficit y por los cuatro nodos correspondientes a transmisión de variables de estado (volumenes de embalse). En la figura se han resaltado los arcos y nodos que se corresponden con elementos físicos reales.

Las restricciones físicas, como capacidad de canales, cap. de embalse, etc... se introducen como límites superior y/o inferior del arco correspondiente.

De esta forma, si el número de arcos totales es A y el número de nodos es N, el resultado de la optimización son aquellos valores de los flujos en arcos X_i , $i = 1, \dots, A$, tales que:

$$F = \sum_{i=1}^A c_i X_i$$

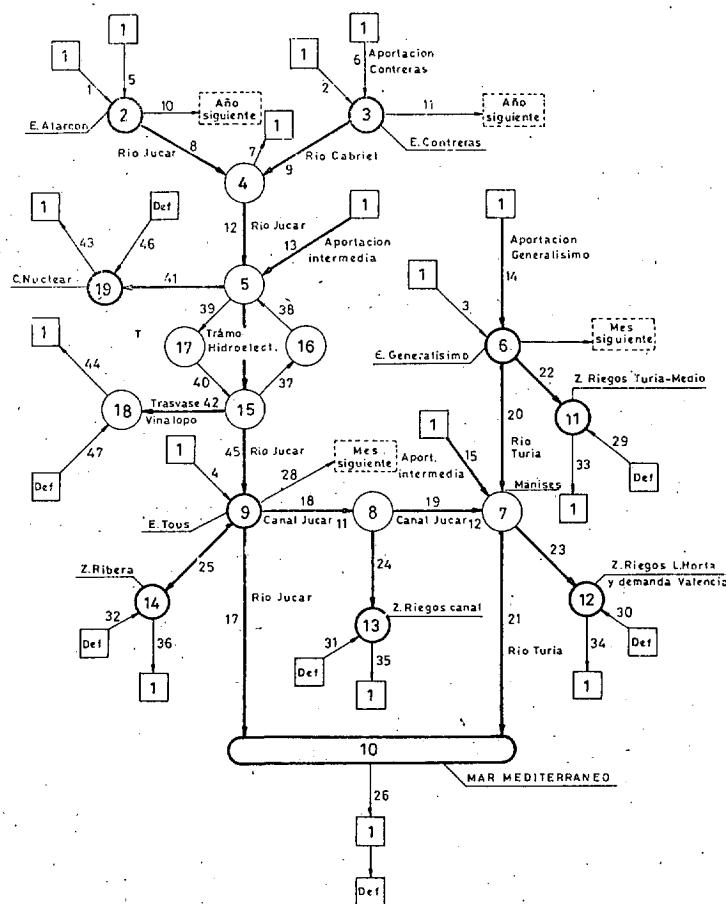


Figura 2. — Red de flujo correspondiente a un mes y caso más general.

es mínimo, siendo c_i valores asignados al costo de flujo unitario a través del arco i . Todo ello sujeto a las restricciones:

$$l_i \leq X_i \leq u_i$$

siendo l_i y u_i los límites inferior y superior respectivamente, del flujo a través del arco i .

Resulta evidente pues, que, mediante el manejo de los costos y de los límites superior e inferior de algunos arcos, pueden conseguirse optimizaciones con diferentes funciones objetivo y con diferentes restricciones. Es esta una característica muy interesante del modelo de optimización que se ha elaborado, pues nos permitirá obtener óptimos condicionados a prioridades de objetivos en el uso del agua.

RESULTADOS

Como datos se han utilizado valores de aportación mensuales en los cinco puntos mencio-

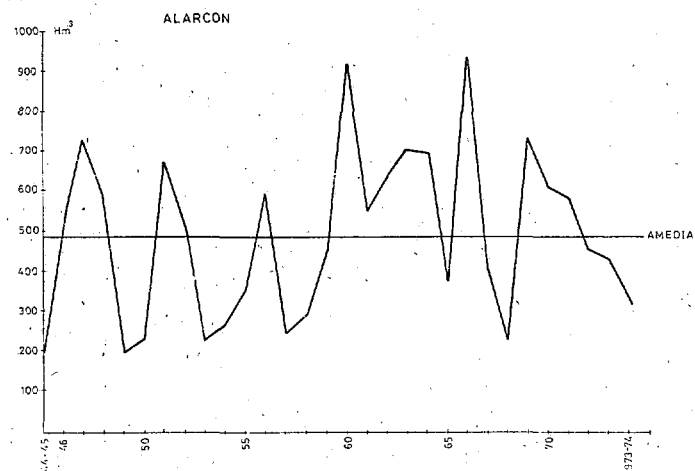


Figura 3. — Aportaciones a Alarcón.

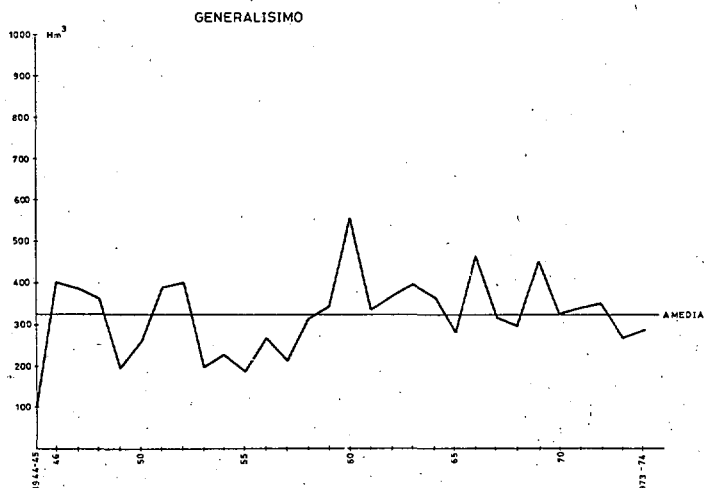


Figura 6. — Aportaciones a Generalísimo.

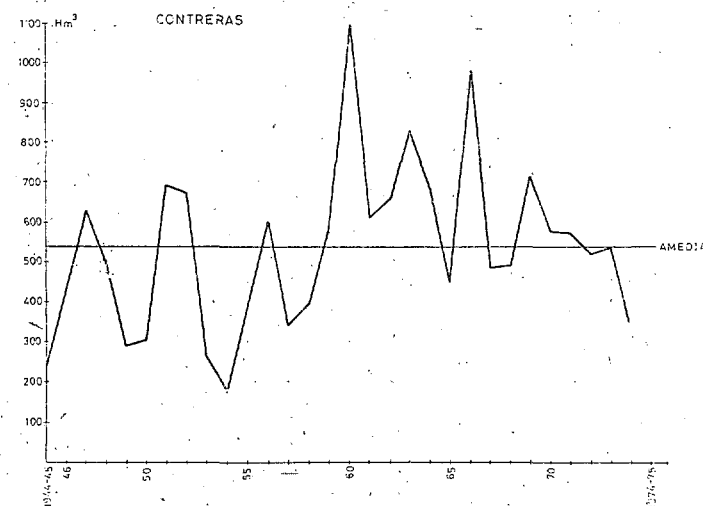


Figura 4. — Aportaciones a Contreras.

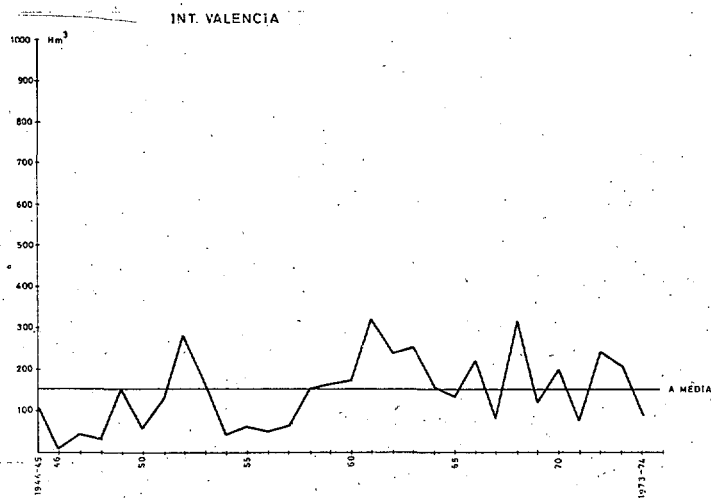


Figura 7. — Aportaciones intermedias a Valencia.

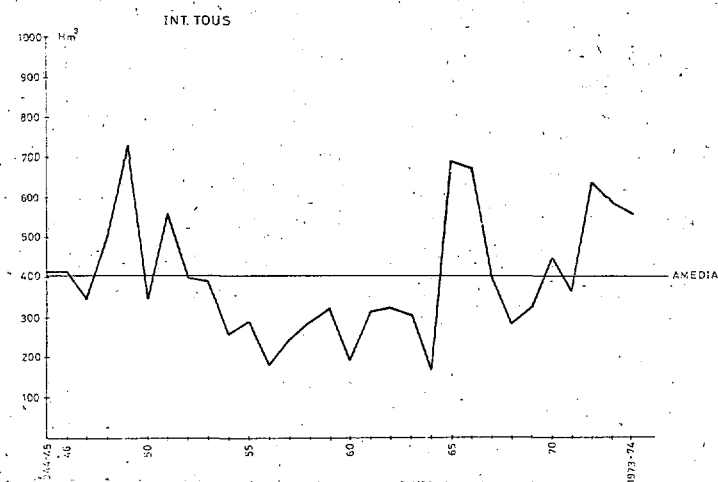


Figura 5. — Aportaciones intermedias a Tous.

nados anteriormente. La serie utilizada es de 30 años de aportaciones mensuales correspondientes al período que va desde octubre de 1944 a octubre de 1974, al que corresponden los gráficos de aportación totales anuales de las figuras n.º 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Asimismo, se han adoptado volúmenes iniciales de embalse de 400 Hm³ en Alarcón, 300 Hm³ en Contreras, 80 Hm³ en Generalísimo y 50 Hm³ en Tous, y para evitar una sobreestimación del óptimo por utilización de recursos inexistentes se ha exigido que el volumen en cada embalse al final del período de optimización sea igual o superior al volumen final.

Para cada hipótesis de las enunciadas ante-

riormente se ha procedido, mediante el uso del modelo de optimización, a la determinación de la solución óptima de flujos que cumpliera la restricción en límites inferior y superior de caudales en el llamado tramo hidroeléctrico y que produjera el mínimo déficit en las zonas de demanda. Mientras que el límite superior de caudales en el tramo se ha mantenido en todos los casos en 60 m³/seg. (155.52 Hm³/mes), el límite inferior se ha variado en distintas pasadas para determinar su máximo valor.

En los resultados obtenidos conviene destacar que en todas las hipótesis el período de aportaciones que condicionaba el valor del flujo óptimo era el de los años 1944 a 1959 que, como puede verse en las figuras n.º 3 a 7, tiene unos valores de aportaciones anuales por debajo de la media.

En el cuadro n.º 2 puede verse un resumen de resultados obtenidos.

Del análisis de los resultados obtenidos en las situaciones óptimas pueden extraerse las siguientes observaciones:

1. Las sueltas de los embalses de Alarcón Contreras complementan la aportación intermedia del Júcar hasta el valor de Q_{HIDR}^{min} .

2. Aparece perfectamente definida una curva volúmenes embalsados en Tous que se repite año tras año en aquellos años en que el sistema está «forzado», esto es, años en los que no sobra el agua.

3. La curva de volumen en Tous da lugar a unas sueltas que se utilizan para abastecer a la Ribera, a la zona del Canal Júcar-Turia, y, si sobra y es necesario, a la zona de Valencia.

4. El canal Júcar-Turia, en su segundo tra-

mo, transporta el agua necesaria para complementar la aportación intermedia del Turia hasta el valor de la demanda de la zona de Valencia. Esto es así siempre que el caudal desembalsado en Tous sea suficiente para ello.

5. El embalse en Generalísimo tiene una evolución que es más bien de tipo hiperanual (en contra de los que ocurre en Tous), de forma que es utilizado para suministros en la zona del Turia Medio y para complementar los suministros citados en el punto 4 a la zona de Valencia hasta el valor de la demanda de dicha zona.

Otro punto a destacar es que en la hipótesis V aparecen unos déficits en las zonas de riego que son inevitables, pues la aportación media total utilizada es inferior a la demanda total anual. Por tanto, se considera como inviable la hipótesis, mientras que en las demás se puede satisfacer completamente la demanda de agua.

También hay que mencionar que el análisis de los resultados ha sido facilitado en gran medida por las gráficas que el modelo de optimización proporciona sobre los resultados obtenidos. Se han previsto en el modelo gráficas de evolución en el tiempo del volumen embalsado en todos los embalses del sistema, así como del volumen mensual circulante por los dos tramos del canal Júcar-Turia.

REGLAS DE GESTION

Las reglas de gestión propuestas para las hipótesis I a II pueden definirse como una única regla con parámetros variables según la hipótesis. Estos parámetros se definen como sigue:

a) Caudal objetivo en tramo hidroeléctrico en fase I $Q_{HIDR,I}^{OBJ}$, es el caudal que ha de circular en el tramo Cofrentes-Tous durante los primeros años de gestión.

b) Caudal objetivo en tramo hidroeléctrico en fase II $Q_{HIDR,II}^{OBJ}$, igual que $Q_{HIDR,I}^{OBJ}$, pero en la fase segunda de gestión.

Sobre cómo saber si estamos en fase I o fase II se hablará más adelante.

c) Curva de volumen embalsado en Tous, que nos da el volumen a final de cada mes en el embalse de Tous.

CUADRO n.º 2

CAUDAL OPTIMO EN EL TRAMO HIDROELECTRICO OBTENIDO PARA LAS DISTINTAS HIPOTESIS

Hipótesis	Q_{HIDR}^{Optimo}	N.º meses con deficits
I	105 Hm ³ /mes	0
II	100 Hm ³ /mes	1
III	85.5 Hm ³ /mes	3
IV	100 Hm ³ /mes	0
V	85.5 Hm ³ /mes	80

CUADRO n.º 3
PARAMETROS DE LA GESTION PROPUESTA

HIPOTESIS	I	II	III	IV	V
$Q_{\text{objetivo}}^{\text{HIDR I}}$ (m^3/s).....	39,0	38,5	33,5	38,5	—
$Q_{\text{objetivo}}^{\text{HIDR II}}$ (m^3/s).....	42,0	47,0	34,0	41,0	—
Q_{objetivo} (m^3/s).....	0,0	6,0	6,0	6,0	—
Octubre (Hm^3).....	50,0	50,0	48,5	50,0	—
Noviembre (Hm^3).....	46,1	45,0	50,2	46,0	—
Diciembre (Hm^3).....	109,3	104,9	97,5	98,5	—
Enero (Hm^3).....	196,8	188,8	167,4	175,2	—
Febrero (Hm^3).....	290,2	278,9	243,1	257,7	—
Marzo (Hm^3).....	369,7	353,0	305,1	235,0	—
Abril (Hm^3).....	394,8	384,3	341,0	354,6	—
Mayo (Hm^3).....	334,4	314,4	280,9	288,9	—
Junio (Hm^3).....	275,0	244,9	201,2	214,7	—
Julio (Hm^3).....	198,8	158,3	104,9	119,3	—
Agosto (Hm^3).....	120,7	77,6	16,2	37,1	—
Septiembre (Hm^3).....	50,0	50,0	31,0	45,3	—

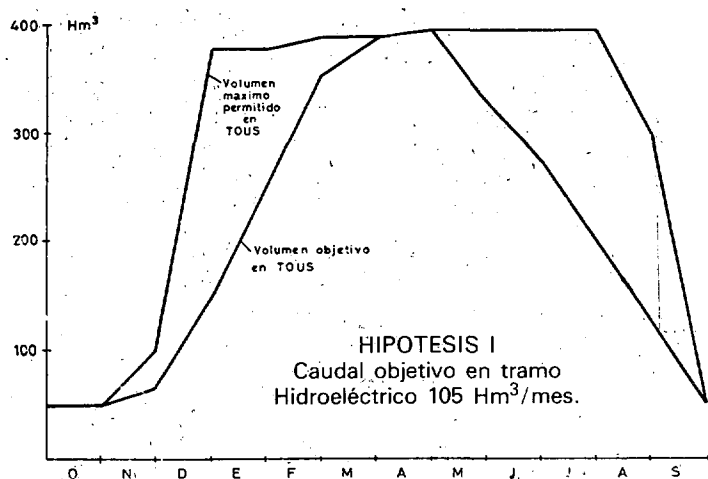


Figura 8. — Curva objetivo en Tous.

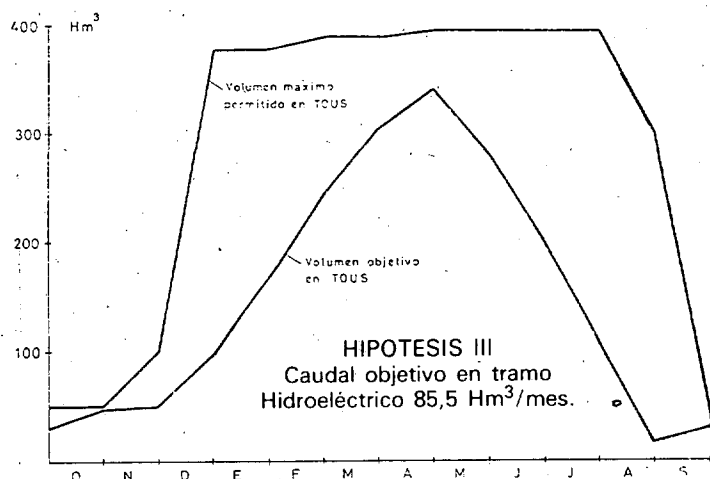


Figura 10. — Curva objetivo en Tous.

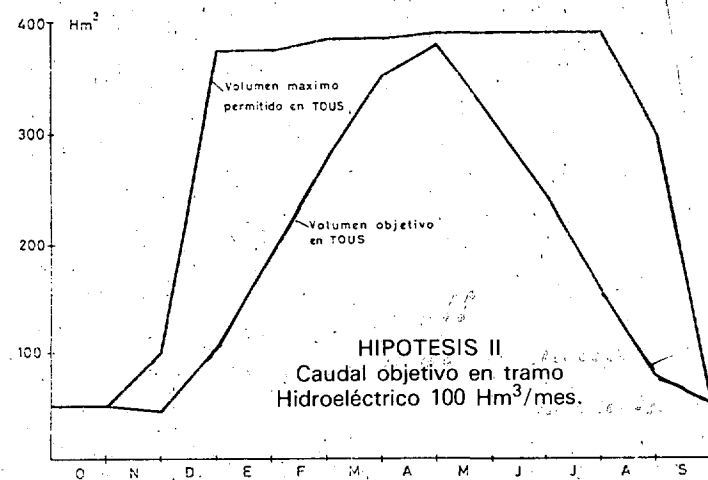


Figura 9. — Curva objetivo en Tous.

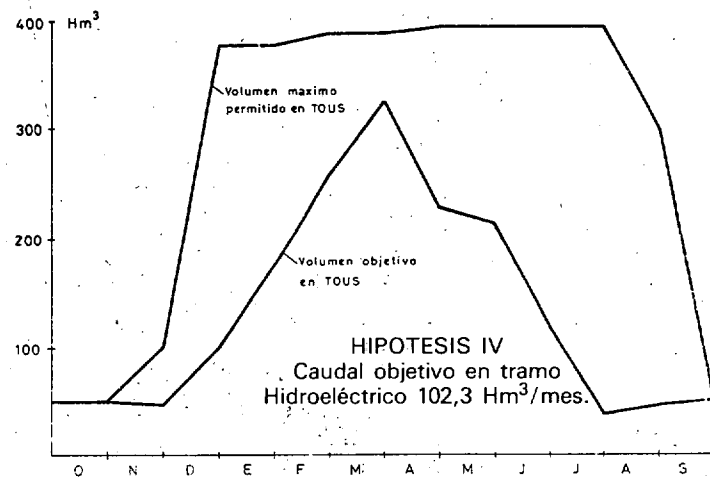


Figura 11. — Curva objetivo en Tous.

Los valores de los parámetros pueden verse en el cuadro n.º 3 y figuras n.º 8 a 11.

La gestión se hará como sigue:

1) Mantener $Q_{HIDR} = Q_{HIDR,I}^{obj}$ si nos encontramos en situación I.

y $Q_{HIDR} = Q_{HIDR,II}^{obj}$ si nos encontramos en situación II.

Para ello complementar la aportación Intermedia del Júcar cuando sea necesario con agua procedente de Alarcón y Contreras, en proporción directa a las aportaciones medias anuales de cada uno (47 por 100 de Alarcón y 53 por 100 de Contreras); salvo que alguno de ellos se encuentre lleno, con lo cual la suelta se hará de forma que no se desperdicie agua, o sea, que la suma de los dos desembalses sea el caudal necesario y no mayor.

2) Realizar desembalse de Tous de forma que el volumen a final de mes sea igual al que indicá la curva correspondiente a la hipótesis de que se trate; salvo que nos encontremos en situación real de crecida en que se actuará con arreglo a lo que dicha situación aconseje.

3) La suelta de Tous determinada según el punto anterior deberá asignarse por riguroso orden de preferencia para los suministros de:

- Zona de Ribera del Júcar.
- Suministro mínimo de agua del Júcar a la ciudad de Valencia.
- Zona del Canal Júcar-Turía.
- Demanda remanente de Valencia, D_r , dada por:

$$D_r = \max(0, D_v - A_{MAN} - Q_{JT2}^{obl})$$

donde:

D_v es la demanda total de la llamada zona de Valencia para el mes.

A_{MAN} es la aportación intermedia del Turia en ese mes (localizada en Manises).

Q_{JT2}^{obl} es el caudal obligatorio a circular por el segundo tramo del Canal Júcar-Turía (Igual a 15,5 Hm³/mes en hipótesis II a IV y $\emptyset$ en hip. I).

4) La suelta de Generalísimo será igual a la suma de la demanda de la zona del Turia Medio más la parte de la demanda de la zona de Valencia que no hubiera sido cubierta con las previsiones anteriores.

Las sueltas en Tous a que da lugar el punto 2 pueden ser mayores que las necesidades de las zonas, con lo cual se dispone de la opción de no utilizar agua del Turia (aportación intermedia o vertidos de Generalísimo) en esos meses y utilizar agua del Júcar si razones de calidad así lo aconsejaran.

Se supone que, para todas las hipótesis, nos encontramos en la llamada fase I de gestión, desde que se comienza la misma hasta que se consiga una situación en que los dos embalses, Alarcón y Contreras, esten en el máximo volumen de embalse. A partir de entonces la gestión se encuentra en fase II.

La regla de gestión mencionada ha sido desarrollada en base a los resultados de la optimización efectuada sobre los datos de aportaciones que estaban disponibles. Por lo tanto, en caso de presentarse un periodo con menos aportaciones que las registradas en la serie histórica, hay que reducir el valor de Q_{HIDR}^{obj} hasta el que resulta indispensable para el suministro de las zonas de demanda y volver a la fase I en cuanto que se haya pasado la situación de emergencia.

En el caso mencionado de sequia anómala, también resultaría conveniente revisar el punto 3 de la gestión propuesta, dado que la zona del Canal Júcar-Turía tiene infraestructura suficiente como para abastecerse prácticamente en su totalidad con agua de pozos. Asimismo, el embalse de Generalísimo sería utilizado en mayor medida.

Después de una situación anómala, como la del párrafo anterior, se aconseja la vuelta a la fase I de gestión.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Dentro del marco de un estudio global del sistema de recursos hidráulicos compuesto por las cuencas de los ríos Júcar y Turia se ha elaborado un modelo de optimización sobre un esquema simplificado para ser utilizado como filtro de alternativas de gestión.

El algoritmo utilizado para la optimización ha sido el conocido como «out-of-kilter», para redes de flujo conservativo y lineal. Las ventajas

del uso de dicho algoritmo son varias:

— Es más eficiente para la optimización de redes que otros algoritmos de programación lineal.

— La configuración de sistemas de recursos hidráulicos superficiales es muy dada a ser esquematizada en forma de red de flujo, lo cual es muy útil para comunicar a los demás mediante dicho esquema lo que se pretende conseguir salvando así el bache de comunicaciones que a veces hace que las herramientas del análisis de sistemas sean vistas con recelo por los no introducidos en el tema.

— Tal como se ha visto en la exposición del trabajo el esquema adoptado permite un análisis multiobjetivo, pues podemos, a nuestra voluntad y mediante el uso de los costos, cambiar las prioridades relativas de los distintos objetivos que intervienen.

Mediante el modelo de optimización, y usando una serie de aportaciones históricas correspondiente a 30 años de datos mensuales, se han obtenido valores óptimos de las decisiones para las hipótesis básicas consideradas. Del análisis de estos resultados se han obtenido unas reglas de gestión. Estas reglas de gestión han sido posteriormente validadas y refinadas mediante el uso de un modelo de simulación a un nivel de detalle mayor (2). La conclusión extraída es que el uso de modelos de optimización sobre esquemas simplificados como filtro de alternativas y para la obtención de reglas de gestión es de gran utilidad.

BIBLIOGRAFIA

1. BAZARAA, M. S. y J. L. JARVIS.: «Linear Programming and network flows». Jogn Wiley & Sons, 1977.
2. M.O.P.U.: «Modelo Matemático de Simulación para el Sistema Hidrográfico Conjunto de los ríos Júcar y Turia». Estudio 08.805001/8071 de la D.G.O.H., Conf. Hidr. del Júcar, 1982.

Joaquín Andreu Alvarez



Ingeniero de Caminos, Master of Science in Civil Engineering por la Colorado State University (USA), Doctor Ingeniero de Caminos por la Universidad Politécnica de Valencia. Es Profesor Titular de Obras Hidráulicas de la E.T.S de Ingenieros de Caminos de Valencia. Autor de diversas publicaciones en España y el extranjero relacionadas con su especialización en hidrología,

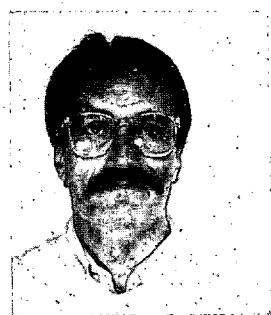
recursos hidráulicos y modelos matemáticos para estas áreas.

José Jaime Gómez Hernández



Ingeniero de Caminos por la Universidad Politécnica de Valencia, número 1 de su promoción y Premio Fin de Carrera. Actualmente en Stanford University (USA), Department of Applied Earth Sciences.

Juan Marco Segura



Ingeniero de Caminos, Master of Science en Hidrología y Recursos Hidráulicos por la Colorado State University (USA), Doctor Ingeniero de Caminos por la Universidad Politécnica de Valencia. Es Profesor Adjunto de Hidráulica de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Valencia; es en la actualidad Jefe del Departamento en Hidráulica y Subdirector de Investigación y

Postgrado de dicha escuela. Es autor de diversas publicaciones en España y el extranjero. Su especialidad es la hidrología estadística, planificación y gestión de recursos hidráulicos, hidráulica de canales y mecánica de fluidos.