



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# AQUATOOL

## EJEMPLO DE SIMULACIÓN CON GEOAQUATOOL.

### Ejercicio 3 USO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE CUENCAS

---

Equipo [Aquatool](#).

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

[IIAMA](#)

[UPV](#)

Marzo de 2025

## Contenido

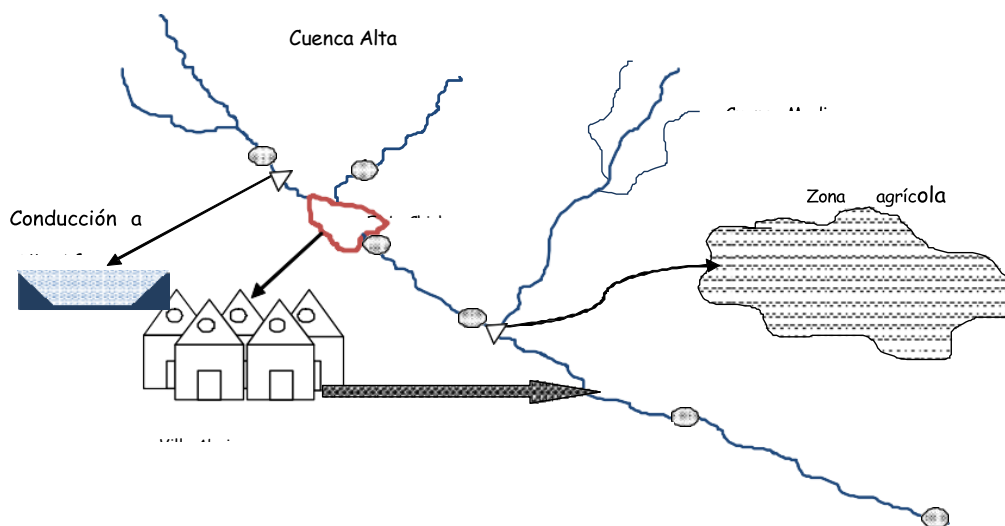
1. Ejercicio propuesto.....	1
2. Breve descripción del módulo de optimización AqtOpt.....	2
3. Objetivo del ejercicio.....	3
4. Activación del módulo de optimización.....	3
5. Edición de datos.....	5
5.1. Demandas.....	5
5.2. Conducciones.....	6
5.3. Embalses.....	7
6. Optimización.....	7
7. Análisis de resultados.....	9

## 1. Ejercicio propuesto.

Con este ejercicio se desarrolla un ejemplo de uso del módulo de optimización AqtOpt para el análisis de la gestión de un sistema de recursos hídricos.

Como caso de trabajo para el ejemplo se utiliza el sistema descrito en el ejercicio primero, y el desarrollo del ejercicio se inicia con el modelo preparado en el primer caso tratado con el módulo de simulación.

La Figura 1 representa el esquema de la cuenca de estudio. Y la Figura 2 un esquema de simulación de la misma elaborado con GEOAQUATOOL según se describe en el documento referido. En el mismo documento se detallan también todos los datos de la cuenca necesarios para la confección del modelo.



*Figura 1. Esquema de la cuenca de estudio.*

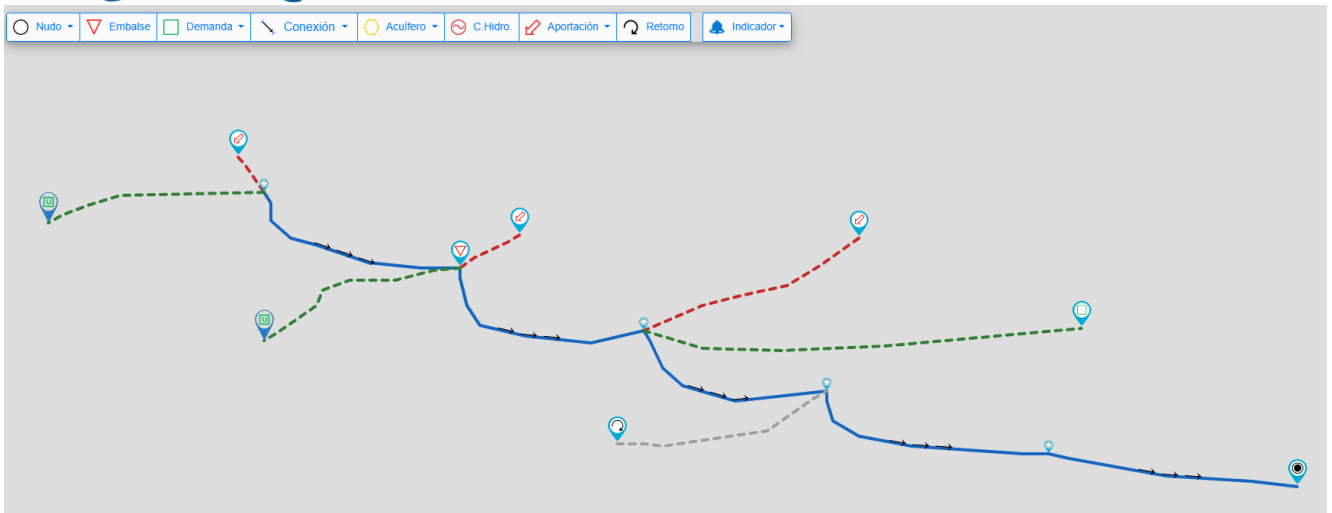


Figura 2: Modelo de simulación de la cuenca de estudio.

## 2. Breve descripción del módulo de optimización AqtOpt.

Una descripción completa del funcionamiento de AqtOpt se puede consultar en el manual técnico del programa.

El módulo de optimización AqtOpt (de manera similar al módulo de simulación) simula la distribución paso a paso del agua entre demandas y embalses. La diferencia es que la optimización considera simultáneamente un periodo de tiempo que abarca varios pasos de tiempo (en este caso meses) para "decidir" las asignaciones en cada paso, teniendo en cuenta las aportaciones posteriores. Haciendo un símil con la realidad, es como si conociera a priori cuales son los recursos que recibirá el sistema durante los próximos meses.

Esta diferencia simplifica en gran medida el diseño de un modelo de optimización, ya que no se requiere la definición de reglas de operación orientadas al ahorro de agua para los próximos meses. Al ser todos los meses, son procesados en un solo paso del cálculo, el algoritmo de optimización resolverá el agua necesaria que debe conservar en embalses para satisfacer la demanda prioritaria también al final del periodo de optimización. De acuerdo con esto, AqtOpt puede utilizarse, por ejemplo, para los siguientes objetivos:

1. Valorar los mejores resultados que podrían obtenerse de la gestión del sistema.
2. Al igual que el módulo de simulación, para ganar conocimiento del funcionamiento del sistema, para analizar alternativas de diseño de infraestructuras, etc.
3. Desde el punto de vista del análisis de reglas de operación tiene una aplicación diferente de la de la simulación. En aquél era

necesario definir las reglas de operación y simularlas para valorar su eficacia mediante la comparación con otras alternativas. Con este modelo, las reglas de operación no son definidas en el modelo, sino que este aplica las decisiones óptimas, y la tarea del usuario es analizar los resultados de la optimización para deducir las reglas de operación adecuadas. Una manera eficiente de trabajar sería la de utilizar primero el módulo de optimización para deducir las reglas de operación, para, a continuación, definir las en el modelo de simulación para su validación.

4. Utilizado con un periodo de optimización de 1 año, puede considerarse que se está haciendo una simulación anual, con la ventaja de que el reparto mensual del agua dentro de cada año queda resuelto por el programa sin apenas requerir datos del usuario.

### **3. Objetivo del ejercicio.**

El primer propósito de este ejercicio es aprender a utilizar el módulo AqtOpt en el entorno de trabajo GEOAQUATOOL.



En segundo lugar, se ensayará diferentes variaciones en los datos de la optimización para comprobar cómo varían los resultados y de esta comparación deducir conclusiones que pudieran ser de utilidad en la planificación de la gestión de la cuenca.

Por último, en este ejemplo, se tratará de obtener una regla de operación óptima para el objetivo de mantener la garantía en la demanda prioritaria, maximizando el suministro a la demanda externa.

### **4. Activación del módulo de optimización.**

Para este ejercicio se parte del modelo ya desarrollado en GEOAQUATOOL para SIMGES (Figura 2).

El primer paso (una vez abierto el proyecto de simulación desarrollado en la primera parte del ejercicio) es activar el módulo de optimización. Esto se

hace mediante la ventana  Simulación  del menú, en el desplegable se selecciona la opción "configuración" y en la ventana (Figura 3) se selecciona la opción "Optimización" como modelo de cálculo.

### Datos Generales Simulación

**Selección del modelo de cálculo**

Simulación
Optimización
Estadístico
Seguimiento

**Calidad**

Calidad

**Medición escala temporal**

Mensual

**Optimización**

Número de pasos de la optimización

12

Número de pasos entre optimizaciones

2

**Título**

Parte de optimización de la cuenca - Rio Mayu

**Periodo de simulación**

Año inicio	Mes inicial
1940	Octubre
Año Final	Mes final
2000	Septiembre

Aceptar
Cancelar

Figura 3. Opciones del proyecto en GEOAQUATOOL.

Esta ventana requiere, además de los datos ya vistos para la simulación. Los datos que configuran el proceso de optimización, que son dos "Número de pasos de la optimización" y "Número de pasos entre optimizaciones".

- El primero indica el número de pasos que se tratará simultáneamente en cada optimización. Por ejemplo (en escala mensual) "12" indica que cada optimización calcula simultáneamente con 12 meses (1 año).
- El segundo (que ha de ser igual o menor que el anterior) indica cuantos pasos de los tratados en la optimización se conservan y cuando se inicia la siguiente optimización. Por ejemplo, en el mismo caso si se indica "2" significa que, aunque calcula 12 meses en la optimización, solo se avanza 2 para la siguiente optimización. Si la primera optimización se ha realizado desde octubre de 1940 a septiembre de 1941, la segunda comenzará en diciembre de 1940 y terminará en noviembre de 1941 (los anteriores resultados de los 10 meses repetidos se descartan).

Aunque en líneas generales el diseño de un modelo para optimización es prácticamente igual al diseño para simulación, sí hay algunas diferencias. La primera de ellas es que en optimización no se utiliza los elementos tipo regla de operación. Otras diferencias se refieren a elementos específicos de AqtOpt que no considera la simulación.

## 5. Edición de datos.

Aunque los datos equivalentes a los de AqtOpt se conservan (estos son todos los datos físicos de la cuenca), es necesario revisar las fichas de algunos elementos para agregar los datos nuevos para AqtOpt. En concreto, se trata de datos que influyen significativamente en la optimización numérica, y que será necesario definirlos de acuerdo con los objetivos del estudio.

A continuación, se describe los datos en cada tipo de elemento.

### 5.1. Demandas.

Para las demandas, además de los datos utilizados para la simulación, permite también la división de la demanda en fracciones o niveles de demanda (Figura 4) orientadas a obtener un reparto homogéneo del déficit entre demandas isoprioritarias.

**Reglas de gestión**

Regla de operación Restricción ▼

Niveles división asignación 4 ▲▼

Fracciones de demanda en %1

Nivel 1: Desde 0 a	0,25
Nivel 2: Desde 0,25 a	0,5
Nivel 3: Desde 0,5 a	0,75
Nivel 4: Desde 0,75 a 1	

*Figura 4. Definición de niveles de demanda.*

Utilizando este recurso, se va a definir para cada demanda del ejemplo las zonas que figuran en la Tabla 1. De esta forma se está condicionando que se suministre el 100% de las demandas de la cuenca antes de comenzar a suministrar a la demanda "DU. Villa Afuera" (ver zonas 3 y 4). Entre las demandas de la cuenca dará primero el 95% de la demanda urbana después el 20% de la agrícola y después completará el 100% de la demanda urbana. Y para la demanda agrícola, una vez suministrada la urbana, primero completará el 50% durante todo el periodo de optimización antes de comenzar a suministrar el restante 50%. Por último, la demanda externa no comenzará a suministrarse hasta haber completado el suministro de las anteriores demandas.

Tabla 1: Definición de zonas para las demandas

Demanda	Prio.	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
DU. Villa Abajo	1	95	100	100	100
DU. Villa Afuera	3	0	0	0	100
DA. El Naranjo	2	20	50	100	100

Además, dado que la asignación a la demanda externa queda controlada por la optimización, se asigna a esta demanda su máxima capacidad de suministro ( $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

The screenshot shows a configuration window titled "DemVillaAfuera". It displays the "Volumen de demanda bruta [m³/s]" field with a dropdown menu set to "Un valor constante" and a value of "3,8" entered. Below this, it shows a calculated "Valor promedio: 119,837 [hm³/año]".

Figura 5: Asignación máxima a la demanda VillaAfuera.

## 5.2. Conducciones.

Para las conducciones, si se ha dado un caudal mínimo distinto de 0 se puede definir una zonificación o escala de prioridades en el caudal mínimo de manera equivalente a las demandas.

En este ejemplo se supondrá definido un caudal mínimo en el tramo final igual al 20% de la aportación media (Tabla 2). Y como zonas se define el 50% en la zona 1 y el resto en la 2. Puesto que el caudal mínimo es prioritario con respecto a la demanda consuntiva. El modelo solo dejará de servir el 100% del caudal mínimo si no dispone de suficiente agua, y en tal caso priorizará el suministro del primer nivel del caudal mínimo en cualquier paso de tiempo aunque deba anticipar reducciones en el cumplimiento del segundo nivel en meses anteriores.

Tabla 2: Caudales mínimos en el tramo final ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

Oct	nov	dic	Ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
0.6	1.5	1.9	2.4	2.7	2.2	2.2	1.5	0.8	0.3	0.2	0.2



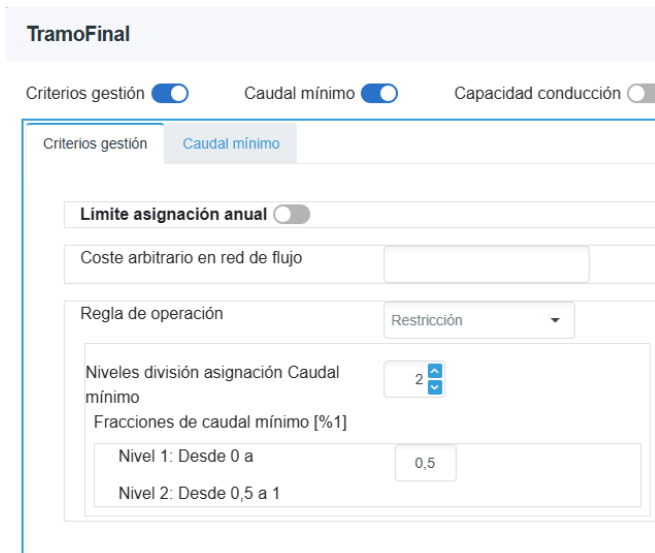


Figura 6: División del caudal mínimo en tramos.



### 5.3. Embalses.

Los elementos tipo embalse en AqtOpt no requieren ningún dato adicional a los ya descritos para AqtSim. El número de prioridad solo tiene sentido para el caso de tener dos embalses, de manera que, si al final de la optimización se dispone de un recurso sobrante, este número prioriza en qué embalse se queda el agua.

## 6. Optimización.

El modelo de optimización de la gestión realiza un proceso similar al del modelo de simulación, pero diferente en el método de asignación del agua. En este caso el modelo prescinde de las reglas de operación.

La optimización se configura en la ficha de simulación, en que se define el tamaño de la optimización y el intervalo de salto entre el inicio de las sucesivas optimizaciones (Figura 3).

Para realizar los cálculos, de manera similar a como se hacía con SIMGES, se dispone en el menú de  Simulación ▾ →  AQT-OPT que da acceso a la ventana de datos para la optimización (Figura 7).

### Datos Generales Simulación

**Selección del modelo de cálculo**

Simulación
Optimización
Estadístico
Seguimiento

Calidad

**Medición escala temporal**

Mensual
▼

**Optimización**

Número de pasos de la optimización

24

Número de pasos entre optimizaciones

12

**Título**

modelo1 - escenario1

**Periodo de simulación**

Año inicio	Mes inicial
1940	<span>Octubre</span> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span>
Año Final	Mes final
2000	<span>Septiembre</span> <span style="font-size: 0.8em;">▼</span>

Simular

Control de errores en el diseño +

Figura 7. Ficha para el proceso con el modelo de optimización.

La ficha de datos para la optimización (Figura 7) requiere los siguientes datos:

- **Tamaño de la optimización** en pasos de tiempo según la escala de cálculo. Es el número de pasos de tiempo (en este caso 12 meses) que se tratarán simultáneamente en cada optimización.
- **Número de pasos entre optimizaciones.** Es el número de pasos de la optimización que se conservan. Los resultados obtenidos en la optimización para los sucesivos pasos son descartados y calculados de nuevo en la siguiente optimización. En este caso se optimiza 2 años pero solo se conserva 1.
- **Periodo de simulación.** Dado por la fecha inicial y final. El programa encajará en este periodo los periodos de optimización y salto definidos, si la relación no fuera entera, dejará de calcular los pasos restantes al final del periodo. Sí conservará todos los resultados de la última optimización.

Haciendo clic sobre el botón "Simular" el programa realiza el proceso de simulación con optimizaciones sucesivas.

Una vez terminado el proceso se puede presionar el botón "Aceptar" para cerrar la pantalla de simulación y volver a la pantalla de trabajo.

## 7. Análisis de resultados.

Una vez terminada una simulación y validados los datos, se puede pasar a analizar los resultados. Para ello se dispone de varios recursos. Aunque los principales son dos. El primero es la herramienta de análisis gráfico de resultados por elementos que ya se ha visto. Y el segundo es un resumen general de toda la simulación que se tiene en **Resultados** del menú y en **Informe resumen** de su desplegable (Figura 8).

ResumenMensual.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Criterio garantía IPH08 agraria (máx.def. 1, 2, 10 años): 91.4%, 166.3%, 597.8% <NO cumple>  
 Criterio garantía IPH08 urbana: <NO cumple>

17. DemVillaAfuera . Volumen demanda: 118,20 hm³/año  
 Garantía volumétrica: 54.0%  
 Garantía anual: 0.0%  
 Garantía mensual: 41.1%  
 Un mes: 9.85 hm³/mes  
 Dos meses: 19.70 hm³/mes  
 Criterio garantía IPH08 agraria (máx.def. 1, 2, 10 años): 100.0%, 197.2%, 627.1% <NO cumple>  
 Criterio garantía IPH08 urbana: <NO cumple>

Fallos por niveles

Id	Nombre	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
13.	DemVillaAbajo	12;	2;	0;	2;
14.	DemAgrElNaranjero	56;	74;	108;	290;
17.	DemVillaAfuera	0;	0;	0;	1278;

EMBALSES-----

Volumen embalsado [hm³]

Id	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2	EmbChicharro	26.43	29.92	33.32	39.95	40.89	36.49	28.16	19.99	15.12	13.12		

Evaporación [hm³]

Id	Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2	EmbChicharro	0.04	0.07	0.11	0.19	0.24	0.32	0.30	0.22	0.13	0.08		

Línea 103, columna 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

Figura 8. Informe resumen.

**El resumen de resultados** incluye un resumen del número de veces que cada demanda o caudal mínimo tiene fallos en cada una de las 4 zonas (Figura 8). Este dato, aparte de como otro indicador de garantía, es útil para valorar la eficacia en la definición de zonas objetivo de la demanda.

Para comprender el funcionamiento de estos niveles de la demanda, se va a hacer varias optimizaciones variando los datos de definición de estas zonas (ver Tabla 3).

1. Si se hace varias optimizaciones con periodo de optimización y salto igual a un año, variando el mínimo de suministro urbano y se compara el resultado de número de fallos en cada zona para las demandas urbana, agraria y de caudal mínimo, se obtiene el resultado que se muestra en la Tabla 3. Influencia del mínimo de demanda urbana en su garantía. De aquí puede deducirse que el mínimo definido para la demanda urbana no influye en la garantía a la demanda agrícola o al suministros a la

población externa. Aunque sí puede tener efecto sobre la misma demanda urbana, ya que plantearse un objetivo de mínimos más ambicioso puede ser incluso perjudicial para la propia demanda ya que aumenta el número de fallos graves, mientras que si se baja el mínimo estos se reducen.

*Tabla 3. Influencia del mínimo de demanda urbana en su garantía.*

Zona 1 UDU %	fallos Z1 UDU	fallos Z2 UDU	fallos Z1 UDA	Suministro VillaFuera (hm <sup>3</sup> /año)
20	13	15	63	64.6
30	13	15	63	64.6
50	14	14	63	64.6
60	24	2	63	64.6
90	22	0	63	64.7
<b>95</b>	22	0	63	64.7

- Si se hace lo mismo con la demanda agraria (manteniendo fija la urbana) se obtiene un resultado similar. La demanda urbana y el mínimo de la demanda ecológica no son afectados por el criterio de gestión de la demanda agrícola. Mientras que la misma demanda agrícola sí es afectada. En el último caso, se observa una influencia mayor sobre la garantía de la zona 2 del caudal ecológico, esto es así porque se está priorizando más el suministro de la demanda agraria sobre este.

El otro medio para analizar los resultados de la optimización es mediante el programa de visualización de **resultados gráficos**.

En primer lugar, en el gráfico de evolución del volumen embalsado (Figura 9) puede verse que con la gestión simulada, todos los años se agotarían las reservas. Esto descubre que las lecturas anteriores están condicionadas por cómo se ha definido la optimización, ya que se ha hecho optimizaciones sucesivas de periodos de gestión de un año. Esto es, el programa no considera la necesidad de dejar reservas en el embalse a final del año hidrológico para mejorar el suministro durante el año siguiente.

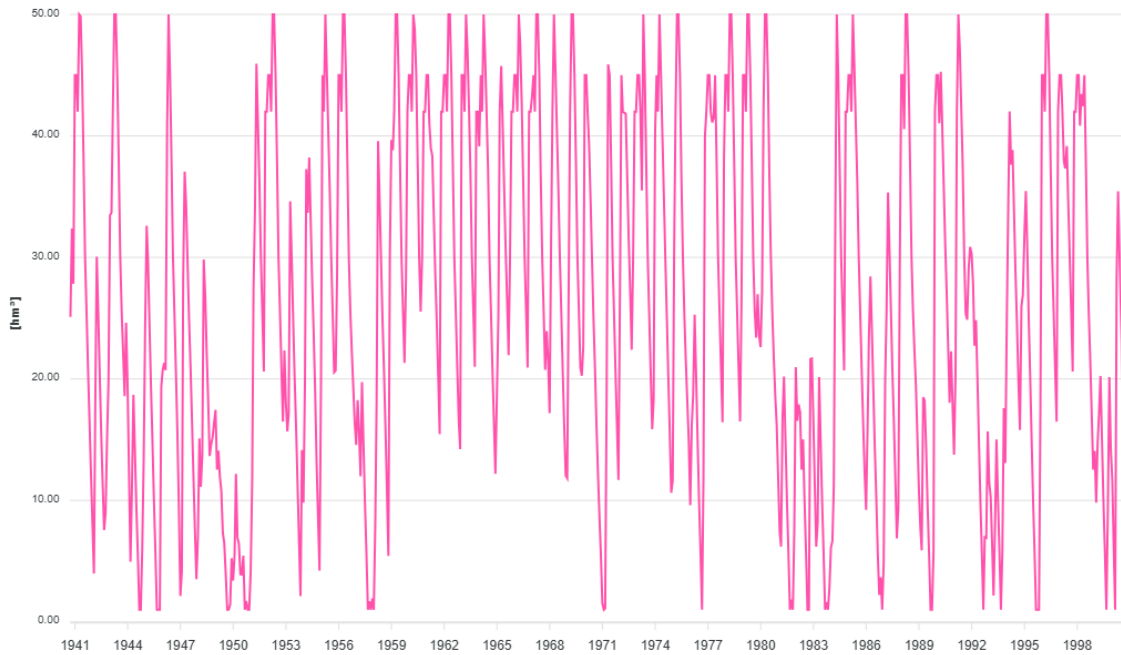


Figura 9. Gráfico de reservas en el embalse con 1 año de optimización.

Este criterio de gestión del embalse puede ser adecuado, ya que la regulación del embalse es normalmente inferior a la aportación que recibe. Pero no siempre ocurre así, por ejemplo los años 1980-1983 o 1992-1994 el embalse no llega a llenarse. Para estos periodos también se puede comprobar que en estos años la demanda urbana también tiene déficit de suministro (Figura 10).

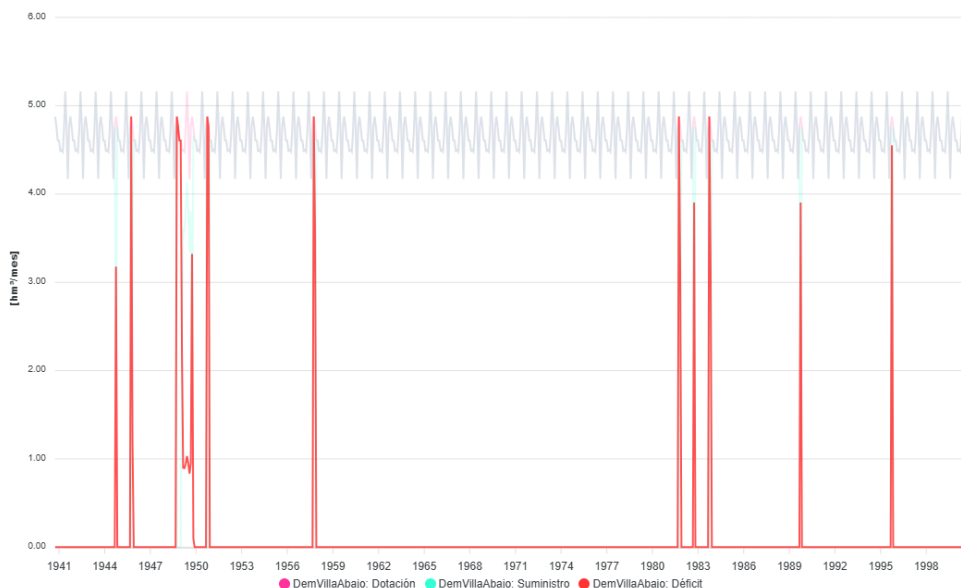


Figura 10. Resultados déficit en la demanda UDU VillaAbajo con optimización anual.

De lo anterior se deduce que es necesario estudiar una gestión hiperanual del embalse para garantizar el suministro a la demanda urbana. Esto es, será necesario analizar la eficacia de guardar reservas en el embalse a final de año para el año siguiente. Para ello se puede utilizar la optimización con un

periodo de optimización de 2 o más años. La Figura 11 representa los gráficos comparados de déficit calculado en la optimización con 1, 2, 5 y 10 años, todos con paso de 1 año entre optimizaciones.

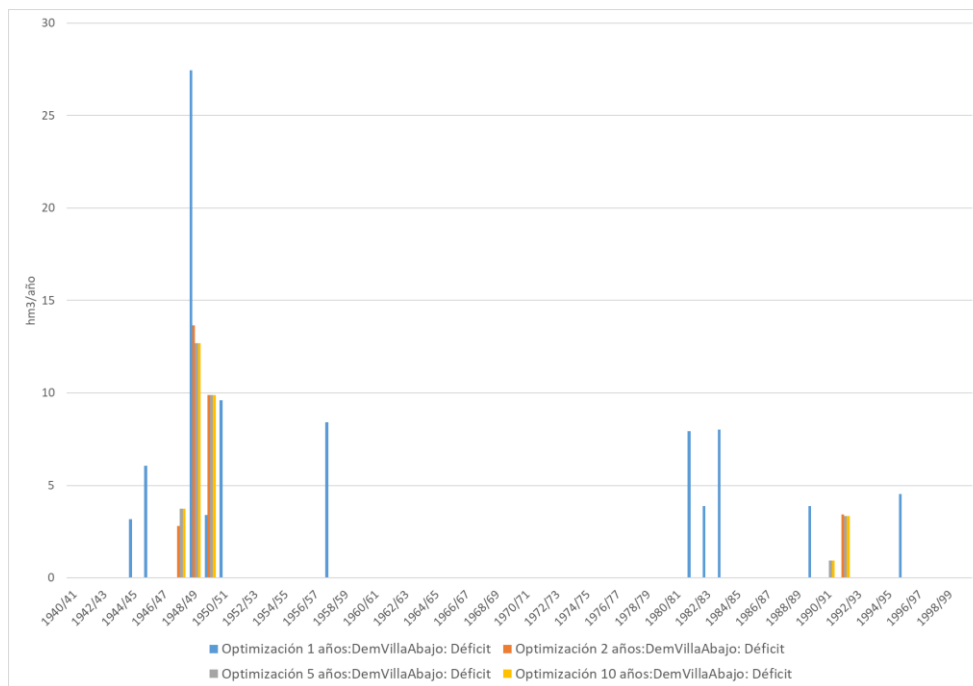


Figura 11. Resultados de la optimización con 1, 2, 5 y 10 años de periodo optimizado. déficit demanda UDU VillaAbajo.

De estos resultados se deduce que un periodo de anticipación de 2 años mejora significativamente la garantía en la demanda urbana, mientras que no se consigue mejores resultados si se atiende a un periodo de tiempo mayor.

De esta forma el suministro urbano mejora significativamente guardando reservas en el embalse a final de año para atender demandas del año siguiente. Como excepción, destaca el fallo más significativo de la demanda urbana (año 1948-49) que no es posible evitarlo con la regulación disponible.

Si el objetivo perseguido por este estudio es deducir unas reglas de operación óptimas que garanticen el suministro de la demanda urbana sin dejar de suministrar agua del embalse a las otras demandas cuando esto sea posible, estas deberían deducirse de resultados como los mostrados hasta aquí.

Naturalmente unas reglas de operación reales no podrían proporcionar resultados como los que calcula la optimización, pero si en la optimización se encuentran tendencias o correlaciones entre datos y acciones, estas se podrían utilizar como referencia para plantear reglas de operación.