



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



AQUATOOL

EJERCICIOS CON GEOAQUATOOL.

OPTIMIZACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDA EN MODELOS DE ANÁLISIS DE LA GESTIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

Equipo [Aquatool](#).

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

[IIAMA](#)

[UPV](#)

Febrero de 2025

Resumen

Los planes hidrológicos incluyen una definición más compleja que el caudal mínimo para la satisfacción de **objetivos ambientales**. Esto hace que a menudo la **escala mensual no sea suficiente** para el tratamiento de estos objetivos ambientales. Un caso que requeriría la **escala diaria** es el caudal de **crecida** o **caudal generador** que se define para la salida de las presas.

El establecimiento de caudales ecológicos requiere también un proceso de **concertación**, para el cual es imprescindible un **análisis del efecto** sobre el resto del sistema derivado del establecimiento de estos caudales ecológicos.

El software Aquatool en escala mensual ha sido utilizado como herramienta de análisis de la gestión para dicho proceso de concertación en la definición de los caudales mínimos. Una bajada de escala es compleja, no solo por el incremento de los cálculos, sino también por la necesidad de datos que en general no están disponibles.

El nuevo Aquatool permite realizar simulaciones en escala diaria permitiendo utilizar datos en escala diaria para los que se dispone suficiente información, manteniendo el resto de datos en la escala mensual.

En este artículo se utiliza el modelo AqtOpt en escala diaria para la propuesta de un método de análisis de la activación del caudal generador evaluando su efecto sobre la disponibilidad de recursos y facilitando el diseño de un criterio de activación más eficiente.

Con este fin se realiza optimizaciones trimestrales en escala diaria que se repiten cada semana. La optimización trimestral permite anticipar la ocurrencia de eventos de crecida naturales (en este caso por llenados de embalse) que permiten al optimizador seleccionar el mejor momento para la generación de la crecida artificial o esperar a que se produzca una por su naturaleza. El algoritmo de optimización resuelve el momento más apropiado a lo largo del periodo habilitado la satisfacción del caudal de crecida establecido. Mediante el análisis de los resultados de la optimización se plantea una regla de operación que regula el criterio de decisión para fijar el momento de la crecida. Esta regla de operación es validada mediante la simulación de la gestión en escala diaria. La comparación de la gestión diseñada con un criterio que fija el día de la crecida con independencia de la situación permite valorar la utilidad del análisis y las ventajas de este criterio de gestión.

1. Contenido

Resumen.....	2
2. Caso de estudio.....	4
Método de cálculo.....	5
Resultados y discusión.....	7

2. Caso de estudio.

Se selecciona el tramo final del Guadiana con la gestión del embalse de Alqueva. Se diseña un modelo de gestión de este embalse con la definición de los caudales ambientales según se define en el documento de conclusiones operacionales. Este documento establece, además del caudal mínimo mensual, un caudal de generación de $300\text{m}^3/\text{s}$ durante dos días en el mes de marzo. Este caudal supone un volumen total de 52hm^3 (33hm^3 si se considera solo el incremento respecto al caudal mínimo de este mes), el cual podría ser significativo para la disponibilidad de recursos en el embalse de Alqueva.

La gestión del embalse de Alqueva se destina al mantenimiento de estos caudales mínimos, a la satisfacción de las demandas de regadío en el sur de Portugal, también a apoyar desde el río Chanza al sistema de gestión del Tinto-Odiel-Piedras en Andalucía y para la producción hidroeléctrica.

Una dificultad en el análisis de la gestión de sistemas a escala diaria es debida a la disponibilidad de datos, puesto que las series de recursos naturales generadas para planificación suelen ir dadas en escala mensual. Y los datos de aforo en río y en embalse que sí se recopilan a escala diaria no se encuentran en régimen natural mientras que su restitución a este puede ser compleja. En este caso al se ha reconstruido en escala diaria la serie de entradas intermedias desde la presa de Alqueva a la de Pedrogao a partir del balance de entradas y salidas del embalse y los aforos en el río Ardila (su principal afluente). Es importante la escala diaria en este dato, porque el azud de Pedrogao apenas dispone de capacidad de regulación, y esta es utilizada para la gestión de la producción hidroeléctrica en la central reversible de Alqueva. Por lo que las crecidas en el río Ardila necesariamente suponen un incremento de caudal aguas abajo de Pedrogao. Para el resto de datos del modelo (demandas y aportes en Alqueva y el río Chanza) se ha mantenido los datos en escala mensual obtenidos del Plan Hidrológico del Guadiana para el horizonte 2021, ya que la influencia de su variación mensual en el objetivo del análisis es escasa.

Existe una propuesta de caudales mínimos y caudal generador aguas abajo de Pedrogao (en la confluencia con el Chanza) definida en el documento de Conclusiones Operacionales para Alqueva. Este documento establece un caudal de crecida de $300\text{m}^3/\text{s}$ durante dos días durante el mes de febrero.

En este ejercicio, para flexibilizar el análisis, se ha ampliado el periodo de aplicación del caudal generador a los meses de enero a marzo.

Otros elementos incluidos en el modelo de análisis de la gestión del río Guadiana aguas abajo de Alqueva son las demandas agrícolas servidas desde Alqueva; El sistema del río Chanza y el bombeo de recursos desde el Guadiana al Canal de Chanza; Y la central hidroeléctrica de pie de presa de Pedrogao.

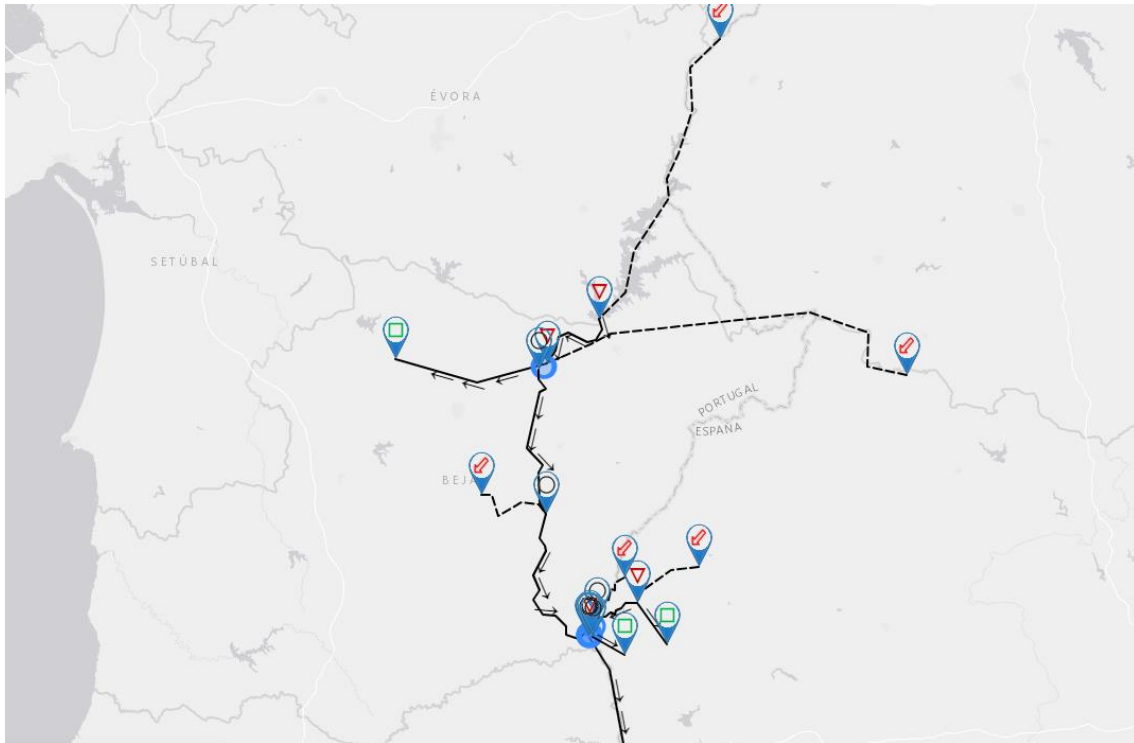


Figura 1: Imagen del esquema de simulación trazado en el modelo GeoGeoAquaTool.

3. Método de cálculo.

Se propone tratar de obtener un criterio de operación orientado a reducir el uso de recursos regulados en el sistema, consistente en seleccionar los días en que por causas naturales se produciría una crecida, aunque esta fuera inferior al caudal requerido. De esta forma el aporte de recursos procedentes de la regulación se reduciría en el volumen que naturalmente circularía por el río. El modo de objetivar esta gestión consistiría en fijar un "caudal de activación" tal que si el caudal circulante en condiciones previas alcanza este caudal de activación, se procedería a aumentar las sueltas de embalse hasta alcanzar el caudal de generación establecido.

La dificultad en este planteamiento radica en la predicción de eventos de pequeñas crecidas que sirvan a este fin. Actualmente los modelos climáticos pueden dar una cierta confiabilidad en sus predicciones para un plazo inferior a una semana. Mientras que el periodo de tiempo manejado para esta operación podría durar desde uno a 4 meses en que las condiciones climáticas naturales estarían correlacionadas con esta práctica.

En el supuesto de disponer de una predicción precisa de los caudales naturales esperables para los próximos meses se podría identificar el episodio con un mayor caudal natural y esperar a la fecha en que este se produjera para incrementarlo con el volumen necesario de regulación para cumplir el objetivo ambiental. Sin embargo este conocimiento anticipado no es posible.

Como aproximación a dicho criterio se debería realizar un análisis de la hidrología histórica para determinar un caudal natural de suficiente entidad y que se produzca con suficiente frecuencia para utilizarlo como caudal activador de los desembalses para el cumplimiento del caudal generador.

Se propone el siguiente procedimiento de análisis para planificar la definición de este caudal activador.

- En primer lugar, se ha de disponer de un modelo de simulación de la gestión de la cuenca en que estén representados los elementos condicionantes que puedan influir en la disponibilidad de agua para este fin. Este modelo habría de operar en escala diaria preferentemente.
- Este modelo de la cuenca deberá ser procesado mediante un módulo de optimización de la gestión que permita optimizar periodos de tiempo de igual o mayor longitud que el plazo disponible para el cumplimiento del caudal generador.
- El caudal generador requerido será definido, por sus características que incluyen el caudal, duración y el periodo de tiempo en que debe cumplirse. Y además un parámetro que define el caudal activador ya indicado.
- La determinación de dicho parámetro es el objetivo de este análisis.
- Para ello se realizará varias optimizaciones de la gestión variando su valor y comparando los resultados de las diferentes simulaciones observando un indicador de la calidad de la gestión adecuado. A priori, este indicador sería el valor de las reservas en los embalses dedicados a servir este caudal generador.
- El proceso de simulación con el modelo de optimización requiere:
 - la definición de un alcance o longitud de la optimización adecuado a la longitud del periodo de aplicación del caudal generador (por ejemplo trimestral).
 - Y realizar estas optimizaciones con una periodicidad adecuada a la capacidad real de predicción climática (por ejemplo una semana).

- En cada iteración el algoritmo de optimización realiza el siguiente proceso:
 - Identifica los días en que se supera por otras causas el caudal de activación,
 - cuantifica el volumen de recurso disponible en cada evento,
 - y establece la fecha objetivo de activación del caudal operacional en los días que más alto valor del caudal esperado.
 - Tras la optimización, si la fecha objetiva queda dentro del periodo de decisión fijado (una semana) se asigna este en la simulación; y si es posterior, se pospone la decisión a las siguientes optimizaciones.
 - Si se llega al final del periodo de aplicación del caudal generador sin alcanzarse el caudal de activación, necesariamente se asignará este durante los últimos días del mismo.
- Este proceso de simulación semanal de la gestión con optimización trimestral puede repetirse iterativamente variando el umbral de activación del caudal generador, para, mediante el análisis comparado de resultados, poder proponer justificadamente una regla de gestión destinada a la activación del caudal generador.

El SSSD Aquatool dispone de opciones para la definición de caudales ecológicos de generación en los términos indicados; Y para la simulación y optimización de la gestión en diferentes escalas temporales.

4. Resultados y discusión.

Como ya se ha descrito en la definición del caso de estudio, se define un caudal generador aguas abajo de los embalses Alqueva y Pedrogao en el río Guadiana de 300 m³/s que podrá activarse en cualquier momento de los meses de enero a marzo.

Como caudal de activación se ha ensayado valores entre 50m³/s y 200m³/s con incrementos de 25 m³/s. El mínimo de 50 se selecciona como un valor suficientemente superior al caudal que normalmente se desembalsa a través de la hidroeléctrica de Pedrogao cuando las reservas de Alqueva están altas, este es de 46m³/s. El máximo de 200 se ha fijado por ser cercano al caudal generador.

Simulación de Caudal Generador o régimen de crecidas

Caudal [m³/s]

Duración [Días]

Periodo para activación [Meses]

Desde hasta

Caudal que lo activa [m³/s] >

El caudal generador se activará cuando por otras causas el caudal circulante supere el dado para su activación. El caudal generador solo se simula para paso de tiempo igual o menor que 1 semana.

Figura 2: Datos definidos en GeoAquaTool para la simulación y optimización de caudal generador.

Para el proceso de optimización del modelo de asignaciones se define un intervalo entre optimizaciones de 7 días y alcance del periodo de optimización de 90 días.

Datos Generales Simulación

Selección del modelo de cálculo

Medición escala temporal

Nº días en cada paso de tiempo

Optimización

Número de pasos de la optimización
 Número de pasos entre optimizaciones

Título

Periodo de simulación

Fecha Inicial
 Fecha Final

Figura 3: Datos para la configuración de la optimización trimestral con repeticiones semanales en el modelo GeoAquaTool.

En primer lugar se ha realizado dos simulaciones de la gestión en paso diario, la primera sin incluir el caudal generador, y la segunda incluyéndolo con una activación a partir de 50 m³/s. Se muestra los resultados comparados de volumen embalsado en Alqueva. En la figura puede apreciarse que durante el periodo de datos disponibles se dan 4 periodos de sequía en que las reservas disminuyen significativamente. La comparación de las dos simulaciones muestra un uso de recursos por el caudal generador de: 70 hm³ (en 1980), 180 hm³ (1995), 110 (2009) y 130 (2017)

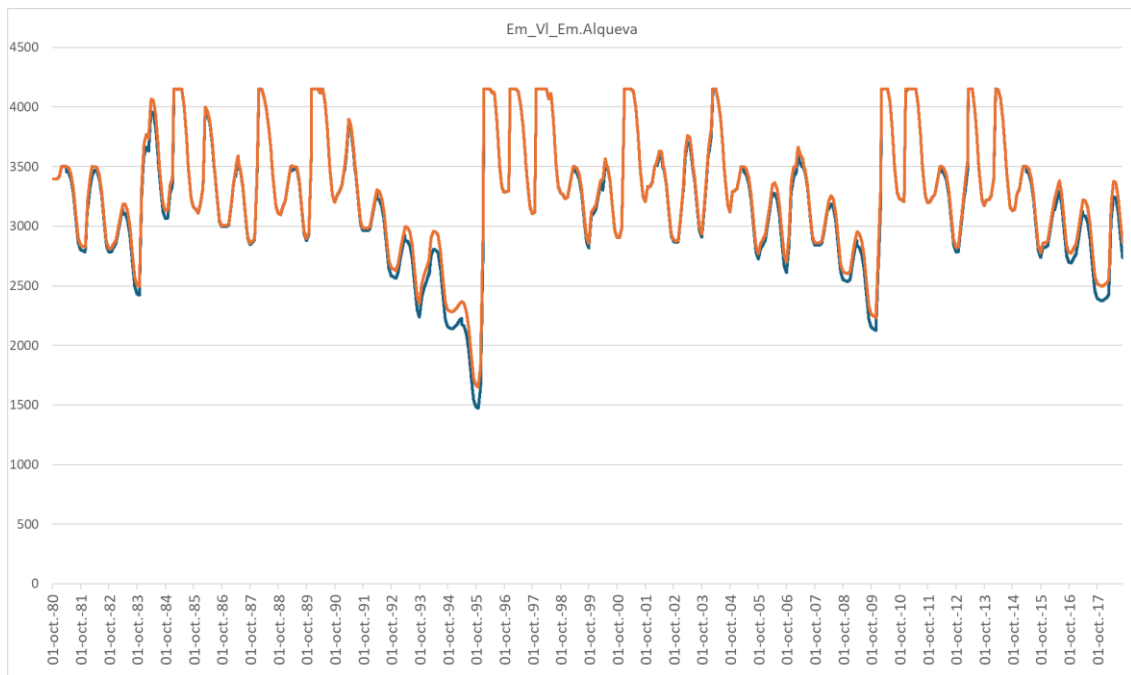


Figura 4: Resultados de la simulación de Alqueva con y sin desembalses para caudal generador.

En la siguiente figura se ha ampliado el periodo 89-96 que abarca en su totalidad el mayor periodo de sequía registrado. Puede apreciarse como la acumulación año a año de los desembalses necesarios para el caudal generador supone una pérdida acumulada de recursos que se hace mayor cuanto más tarda en llenarse de nuevo el embalse.

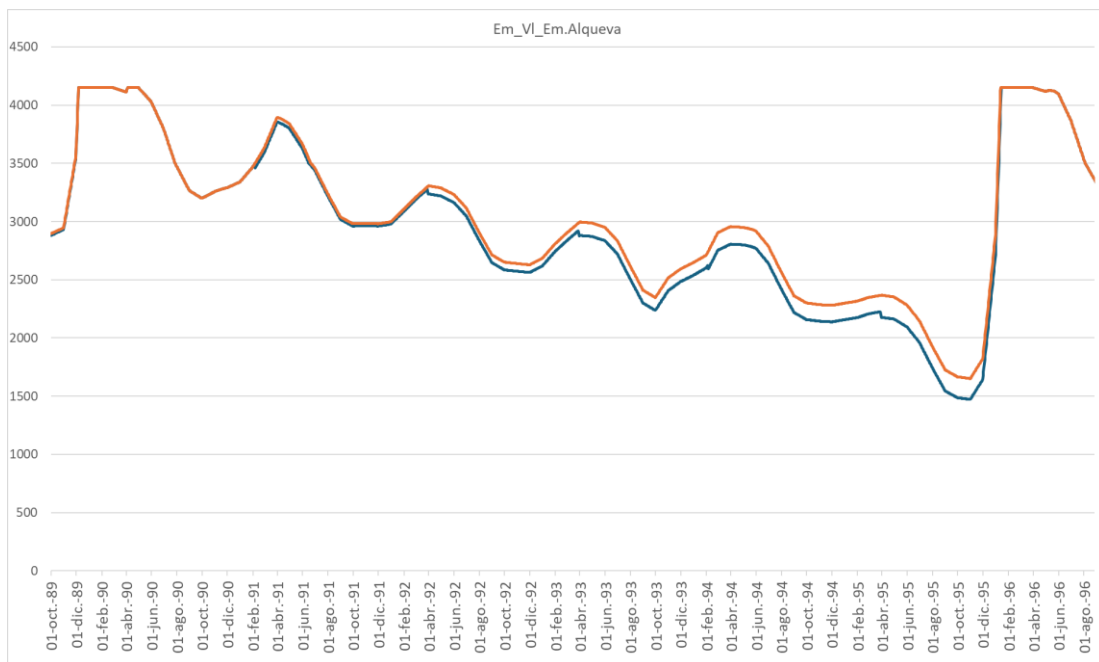


Figura 5: Resultados de la simulación de Alqueva con y sin desembalses para caudal generador para el periodo de sequía.

La optimización presenta resultados similares a la simulación en cuando a la disponibilidad de recursos para el mismo caudal de activación. Lo interesante en esta comparativa es la selección que la optimización hace de las fechas en que se activa el caudal generador. Para las cuales puede distinguirse dos situaciones: la primera y más interesante, es cuando el caudal activador se da antes de finalizar el plazo dado para suministrar el caudal generador; y la segunda es cuando esta circunstancia no se ha presentado y el caudal generador se suministra a final de marzo. La figura siguiente presenta el recuento de ocasiones en que actúa el caudal activador antes de expirar el plazo dado para el servicio del caudal generador.

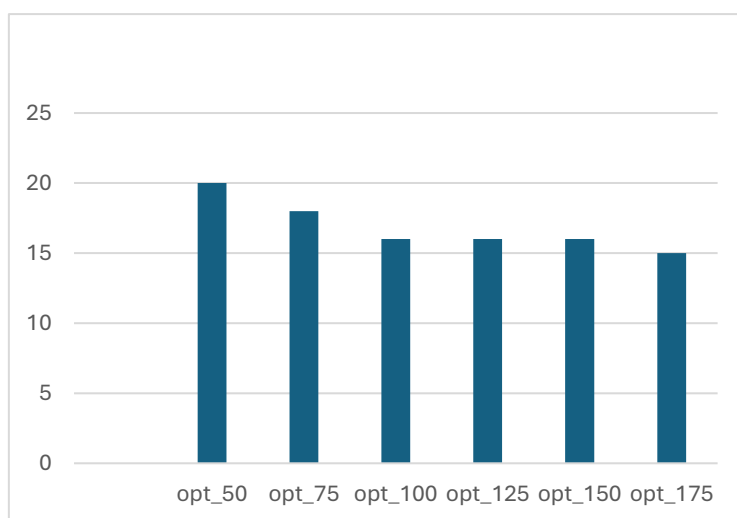


Figura 6: Recuento de ocasiones que se activa el caudal generador para diferentes umbrales de activación.

En la figura puede verse como al pasar el caudal activador de 50 a 100 el número de ocasiones en que se activa pasa de 22 a 16. Mientras que para 200 se reduce en 3 ocasiones más. El total de años simulado es de 38.

- Una lectura de este número sería que con un caudal activador de 50 se activaría este en un 58% de los años. Sin embargo, un caudal de activación pequeño, en la práctica podría condicionar desembalses prematuros que requieren un desembalse mayor que si se hubiera esperado un caudal mayor.
- En el otro extremo, si el caudal activador fuera de 200 solo lo haría en un 34% de ocasiones, lo que supondría con respecto al primero descartar caudales significativos un 24% de los años. Una conclusión a analizar es manejar un caudal activador de $100\text{m}^3/\text{s}$, ya que valores superiores, hasta casi 200 no suponen un incremento de activaciones. Mientras que los inferiores sí las incrementan en gran medida, lo que podría causar activaciones poco eficientes.

Una valoración adicional sobre la eficacia de un caudal activador sería comparar la activación de estos caudales entre una simulación día a día frente a la optimización con el mismo caudal generador. Reduciendo la comparación al periodo 1990-1995 que el periodo continuado de desembalses más largo se observa que en 2 ocasiones de 5 la optimización retrasa la fecha de activación por encontrar caudales más altos en fechas posteriores. Esto se podría interpretar como un relativo ahorro de agua si el caudal de activación fuese más alto.

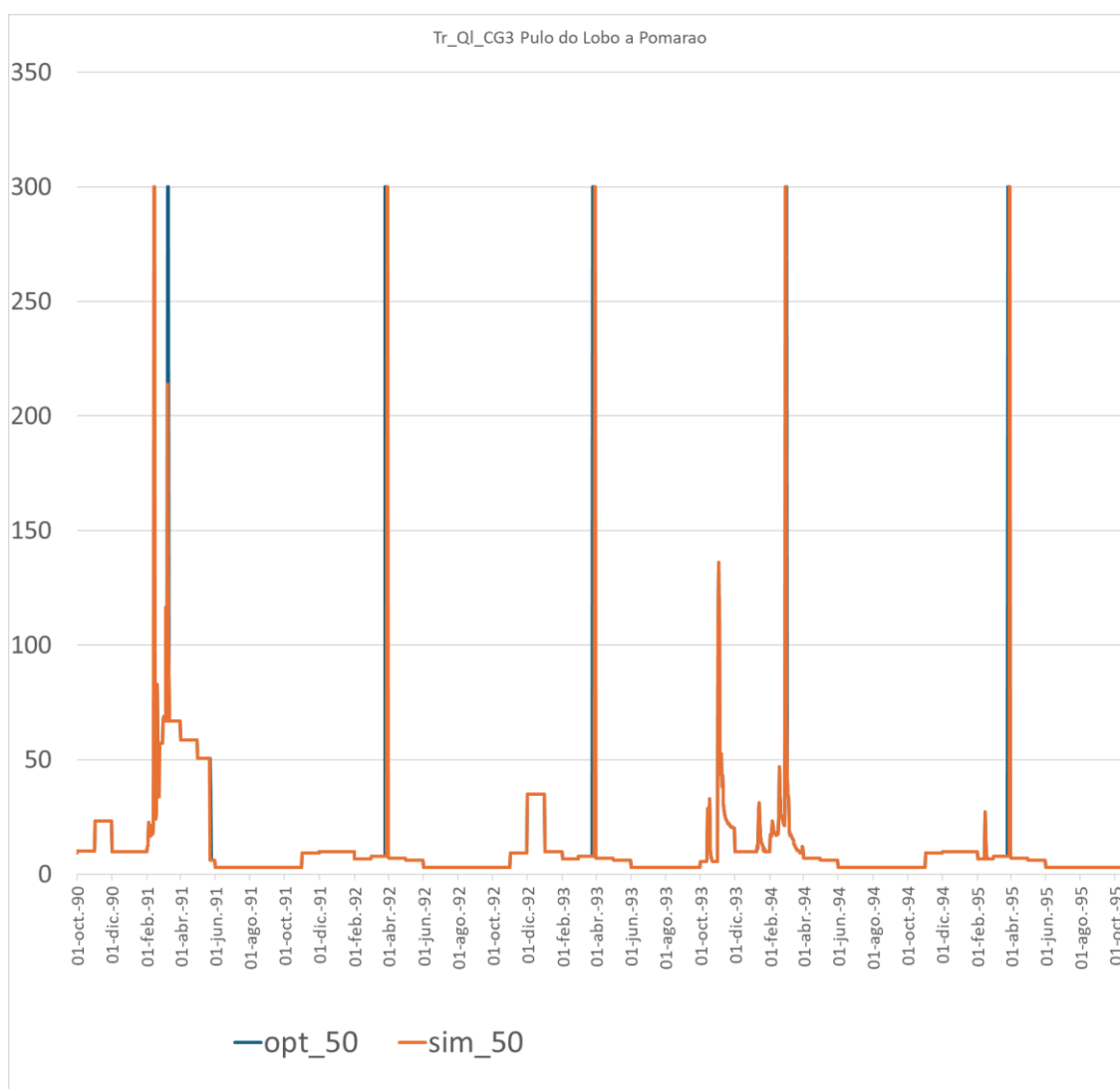


Figura 7: Comparación de resultados de la simulación y la optimización en un periodo de 5 años.

Otra lectura de interés es la comparativa entre las fechas de activación del caudal generador obtenidos con la optimización y la simulación.

El primero busca la ocasión con más caudal activador, lo que reduciría el volumen desembalsado, mientras que el segundo se activaría en la primera ocasión que se da el caudal activador. La tabla siguiente compara las fechas

en que se activa el caudal generador comparando la optimización con la simulación para un umbral de activación de $100\text{m}^3/\text{s}$. Se destaca en rojo las fechas en que la simulación actúa con anterioridad a la optimización, lo que en teoría sería una decisión peor. En la gestión real del sistema, este resultado de la optimización podría aproximarse mediante un eficiente sistema de predicción climática que informara sobre futuras crecidas con un alto grado de confianza.

Año	Simulación	Optimización
1982	13-ene.	13-ene.
1985	22-ene.	11-feb.
1986	16-feb.	21-feb.
1987	26-feb.	25-feb.
1988	16-ene.	27-ene.
1990	2-ene.	3-ene.
1991	7-mar.	9-mar.
1994	2-mar.	2-mar.
1996	2-ene.	31-ene.
1997	2-ene.	2-ene.
1998	2-ene.	5-feb.
2001	6-ene.	7-mar.
2004	24-feb.	14-mar.
2010	8-ene.	27-feb.
2011	2-ene.	8-ene.
2013	10-mar.	30-mar.
2014	15-feb.	27-feb.

Figura 8: Fechas en que se activa el caudal generador en simulación y optimización.