



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



EJEMPLO DE SIMULACIÓN CON GEOAQUATOOL.

Ejercicio 4 USO DEL MODELO DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

Equipo [Aquatool](#).

Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos

[IIAMA](#)

[UPV](#)

JUNIO de 2025

Contenido

1. Ejercicio propuesto.....	1
2. Activación del módulo de análisis de riesgos.	2
3. Edición de datos para el módulo de análisis de riesgos.	3
3.1. Condiciones iniciales en Embalses y acuíferos.	3
3.1. Configuración de resultados para embalses y demandas.....	4
3.2. Aportaciones y series temporales.	4
4. Generación de series para el análisis de riesgos.....	5
5. Simulación e interpretación de resultados.....	7
6. Análisis de resultados.....	10

1. Ejercicio propuesto.

Con este ejercicio se probará el uso del módulo de análisis de riesgos AqtRisk para el análisis de la toma de decisiones a corto y medio plazo para la gestión de un sistema de recursos hídricos.

Como caso de trabajo para el ejemplo se continuará con el sistema descrito en el ejercicio primero. La Figura 1 muestra un esquema de simulación de la misma elaborado con GEOAQUATOOL según se describe en el documento referido aunque con una modificación, se considerará un valor para la demanda urbana "Demanda Villabajo" igual al doble de lo definido en el primer ejercicio. En el mismo documento se detallan también todos los datos de la cuenca necesarios para la confección del modelo.

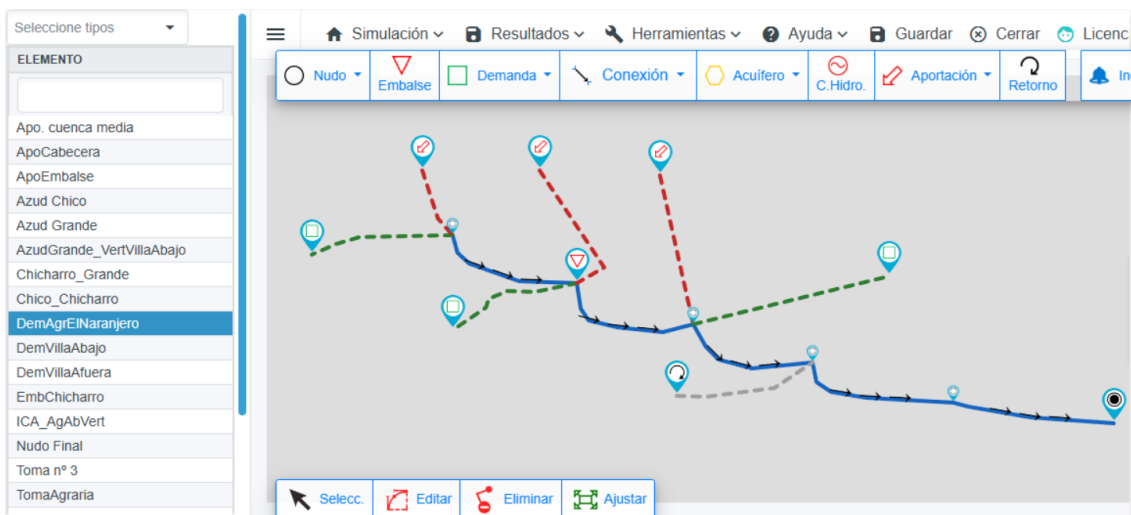


Figura 1: Modelo de simulación de la cuenca de estudio.

El módulo AqtRisk fue diseñado para realizar un análisis estadístico de la gestión de un sistema ante diferentes pronósticos de aportaciones a corto plazo. El análisis realizado por este módulo combinado con diferentes alternativas de asignaciones y movilización de recursos alternativos permite obtener conclusiones sobre la eficacia de tales alternativas.

Una descripción completa del funcionamiento de AqtRisk se puede consultar en el manual técnico del programa. Este módulo utiliza los mismos criterios de asignaciones diseñados para el módulo de simulación (AqtSim) y optimización (AqtOpt).

A diferencia de los módulos en que se basa, no se limita a un único escenario de aportaciones, sino que requiere un conjunto numeroso de diferentes escenarios de aportaciones. De esta forma, tras realizar múltiples

simulaciones u optimizaciones de la gestión, puede obtener estadísticos para cada uno de los elementos modelados a partir de los resultados obtenidos de todas las simulaciones. Estos estadísticos deben ser interpretados para obtener conclusiones y recomendaciones sobre la gestión.

En este ejemplo se analizará las opciones de gestión de una sequía próxima en junio de 2025 (fecha de redacción de este documento) en que se tiene registrado un nivel de reservas en el embalse anormalmente bajo, con solo 10 Hm³ de reservas en el embalse. Se simulará la gestión hasta septiembre del año siguiente, ensayando diferentes medidas de ahorro en las asignaciones. Como indicadores de riesgo se atenderá principalmente a las probabilidades de fallo en el suministro a la demanda urbana, así como del estado del embalse. Las simulaciones se realizarán en escala de tiempo semanal.

2. Activación del módulo de análisis de riesgos.

Para este ejercicio se parte del modelo ya desarrollado en GeoAquaTool para AqtSim. Mediante la opción de [Simulación] → [Configuración] se activa el módulo de cálculo [Estadístico] (Figura 2). En esta ficha se deberá también configurar la escala temporal de cálculo (para este ejercicio se seleccionará la escala según el calendario con pasos de 7 días). También se puede aquí definir las fechas de inicio y fin de la simulación, las cuales, dado el objeto de este análisis deberían abarcar un periodo de tiempo corto que comienza en la fecha en que se realiza el cálculo. En esta ficha se puede configurar también el número de simulaciones a realizar y el modo de obtener las series de datos (esto se verá más adelante).

Datos Generales Simulación

Selección del modelo de cálculo

Simulación
Optimización
Estadístico
Seguimiento

Calidad

Calidad

Medición escala temporal

Días del calendario

▼

Nº días en cada paso de tiempo

7

Título

Análisis de la gestión a corto plazo con GeoAquaTool

Periodo de simulación

Fecha Inicial

2/6/2025

✕

Fecha Final

28/9/2026

✕

Simulaciones probabilísticas para evaluación del riesgo

Nº simulaciones

Generación series

Aceptar

Cancelar

Figura 2: Pantalla de datos generales para la simulación con AqtRisk

3. Edición de datos para el módulo de análisis de riesgos.

Una vez activado el modo de análisis estadístico, al seleccionar un elemento de tipo embalse, aportación o demanda se podrá acceder a la ficha para la entrada de datos relativos a este elemento para el módulo de análisis de riesgos.

3.1. Condiciones iniciales en Embalses y acuíferos.

En la simulación a corto plazo de la gestión de un sistema regulado es de gran importancia la disponibilidad inicial de recursos almacenados en el sistema. Por este motivo será necesario obtener la información actualizada sobre estas reservas en el sistema y definirlas en el modelo previamente al análisis de riesgos.

Este dato ya era requerido para el análisis con el resto de los modelos, pero por realizar en aquellas simulaciones a largo plazo, frecuentemente no se considera un dato relevante. Aunque este dato es configurable mediante la ficha de definición del embalse y del acuífero, también se incluye en la ficha de datos para el modelo de análisis de riesgos. Para este modelo resulta conveniente la definición de este dato como "serie temporal". De esta forma se podría cargar todos los datos registrados de reservas en el embalse para que al seleccionar una fecha obtenga el dato de reservas en la misma.



Figura 3: Edición de datos de estado inicial para embalses.

3.1. Configuración de resultados para embalses y demandas.

En la misma ficha de datos del modelo de riesgos para el embalse se puede activar el cálculo de estadísticos para embalses y demandas. El modelo calcula tres tipos de estadísticos: la función de distribución, probabilidades de estado del embalse para diferentes rangos de reservas y niveles de embalse para probabilidades dadas. La función de distribución es calculada solo con activar la obtención de estadísticos. Los otros dos estadísticos requieren la definición de los intervalos para su cálculo. Para este ejercicio se define los datos indicador en la Figura 4 para el embalse y para la demanda urbana.



Figura 4: configuración de estadísticos para embalses.

3.2. Aportaciones y series temporales.

Los datos de aportaciones en simulación vienen dados para un periodo de tiempo histórico en el cual se ha realizado un trabajo previo de restitución al régimen natural. En el caso del ejercicio anterior se dispone de datos mensuales desde oct-1940 a sep-2000. Estos datos no sirven, a priori, para el análisis de riesgos ya que en este caso se trata de analizar un periodo de tiempo corto en el futuro para el que el modelo espera un conjunto de múltiples series equiprobables (según se define en la Figura 2: desde el 2/6/2025 al 5/10/2026 con valores cada 7 días).

Estas múltiples series temporales deberán generarse por algún método aceptado antes de realizar el análisis de la gestión con AqtRisk. Este método puede ser un proceso estocástico o a partir de proyecciones climáticas.

En el siguiente apartado se describe algunos métodos proporcionados en AquaTool para obtener múltiples series de datos para este fin.

4. Generación de series para el análisis de riesgos.

GeoAquaTool proporciona algunas herramientas para el análisis y generación de series estadísticas para utilizar en el módulo AqtRisk. La más adecuada sería el módulo de análisis de series hidrológicas (MASHWin) que permite la calibración de un modelo estocástico multivariado para el conjunto de las aportaciones del sistema.

Sin recurrir a herramientas especializadas, GeoAquaTool también permite la obtención de series directamente extraídas de los datos históricos (ya definidos para AqtSim) en periodos de tiempo continuos y con el mismo mes y día de inicio pero en cualquier año del periodo histórico (este proceso se realiza mediante el módulo denominado "Punteo").

Al activarse el uso de AqtRisk, automáticamente todas las aportaciones quedan configuradas para la extracción de series de la histórica mediante Punteo. En la Figura 5 se muestra la ventana de configuración de esta función. El desplegable para el método de cálculo permite también seleccionar la opción denominada "Punteo+" la cual consiste en la obtención de series de la histórica de la misma forma que punteo, pero el resultado es alterado mediante un estadístico de tipo LogNormal con media igual al dato histórico y con un coeficiente de variación dado. El cual ha de introducirse en la misma ventana.



Figura 5: Ventana para la configuración la generación de series para AqtRisk.

Para este ejercicio se seleccionará el método Punteo+ en todas las aportaciones y se definirá un coeficiente de variación de 2 para todas las aportaciones.

Para la generación de series, ambos procesos realizan un sorteo previo del orden de fechas en que entraran al registro histórico para obtener las series. De esta forma, todas las series extraídas conservarán la correlación espacial existente en los datos históricos.

AqtRisk permite dos formas de proceder para la generación de series a la que se accede desde la ventana de datos generales para la simulación (Figura 6). Estas son:

- "Generación síncrona", esto es, en cada paso de la simulación el módulo AqtRisk pedirá los datos al módulo de generación de series.
- Y "Generación asíncrona", por la cual se deberá proceder a la generación previa de las series mediante el botón disponible en la misma ventana. Este proceso escribe el conjunto de series en el directorio de trabajo del esquema mediante un archivo por cada escenario con el nombre "SeriesAleatorias.{n}.csv". Donde {n} es un número desde 1 al número de series solicitado



Figura 6: configuración de la generación de series para AqtRisk

Si el usuario obtiene las múltiples series por un procedimiento externo a AquaTool deberá utilizar aquí el modo de generación asíncrona y producir los archivos de datos con los mismos nombres y formato que estos archivos (Figura 7). Una explicación detallada del contenido de estos archivos se encuentra en el manual de usuario del programa.

SeriesAleatorias.19.csv							
	CodElemento;	TipoDato;	Fecha;	Anio;	Paso;	Valor;	Cod2TipoDato
1	10;	202;	02/06/2025	0:00:00;;	2.337555;		
2	10;	202;	09/06/2025	0:00:00;;	8.237065;		
3	10;	202;	16/06/2025	0:00:00;;	4.419136;		
4	10;	202;	23/06/2025	0:00:00;;	5.174497;		
5	10;	202;	30/06/2025	0:00:00;;	6.306605;		
6	10;	202;	07/07/2025	0:00:00;;	3.634201;		
7	10;	202;	14/07/2025	0:00:00;;	2.242798;		
8	10;	202;	21/07/2025	0:00:00;;	1.050016;		
9	10;	202;	28/07/2025	0:00:00;;	2.509209;		
10	10;	202;	04/08/2025	0:00:00;;	1.319349;		
11	10;	202;	11/08/2025	0:00:00;;	2.411111;		
12	10;	202;	18/08/2025	0:00:00;;	1.241448;		

Figura 7: Ejemplo de archivo de datos de aportaciones para el módulo Aqtrisk.

5. Simulación e interpretación de resultados.

La simulación se realiza de igual manera que los módulos ya vistos (mediante el menú [Simulación]→ [Aqtrisk]).

El módulo Aqtrisk proporciona un resultado similar a los ya vistos para los módulos deterministas, en el cual muestra el valor promedio de la variable y los valores extremos (máximo y mínimo) alcanzados (Figura 8). También proporciona gráficos para los estadísticos descritos en (3.1) para embalses (Figura 9) y demandas (Figura 10).

Los resultados medios de la simulación permiten una apreciación general de los resultados esperables a lo largo de los próximos meses. En la Figura 8 se parecía como durante el primer verano el embalse estará prácticamente vacío, sin superar en promedio los 10 Hm3 de almacenamiento (aunque dada la escasa capacidad del embalse respecto a las aportaciones, existe alguna posibilidad de que este se llenara.

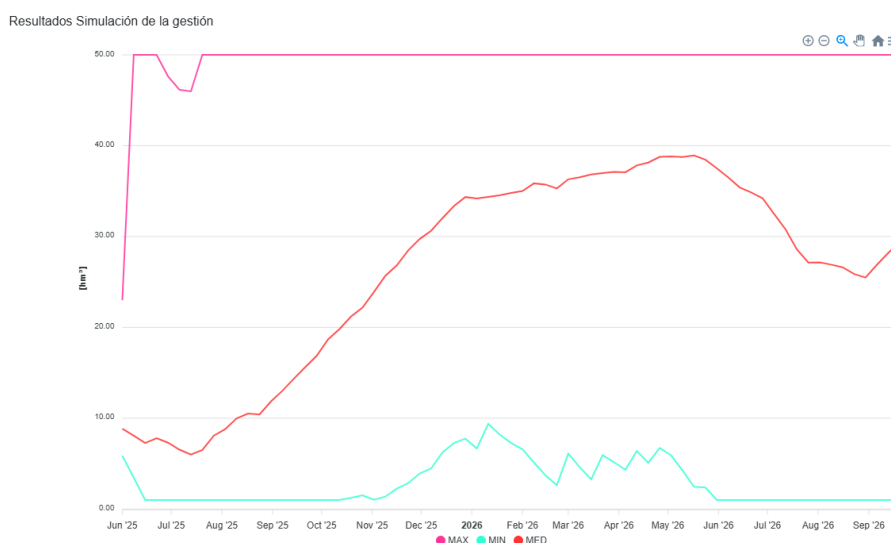


Figura 8: Gráfico de resultados de la simulación para el embalse.

Los estadísticos de estado del embalse permiten una lectura más clara de la situación futura esperable. En la Figura 9 se muestra los dos modos que el programa dispone para presentar resultados (probabilidades para intervalos de almacenamiento en el embalse y volúmenes para probabilidades de excedencia en la variable (en este caso el volumen de reservas). En la Figura 9 se aprecia cómo hasta octubre del primer año las probabilidades de que el embalse supere los 10 hm³ de reservas es muy escasa debido a la falta de reservas actuales, mientras que para el segundo verano el efecto del estado actual ha desaparecido y las probabilidades son similares para cualquier nivel de reservas.

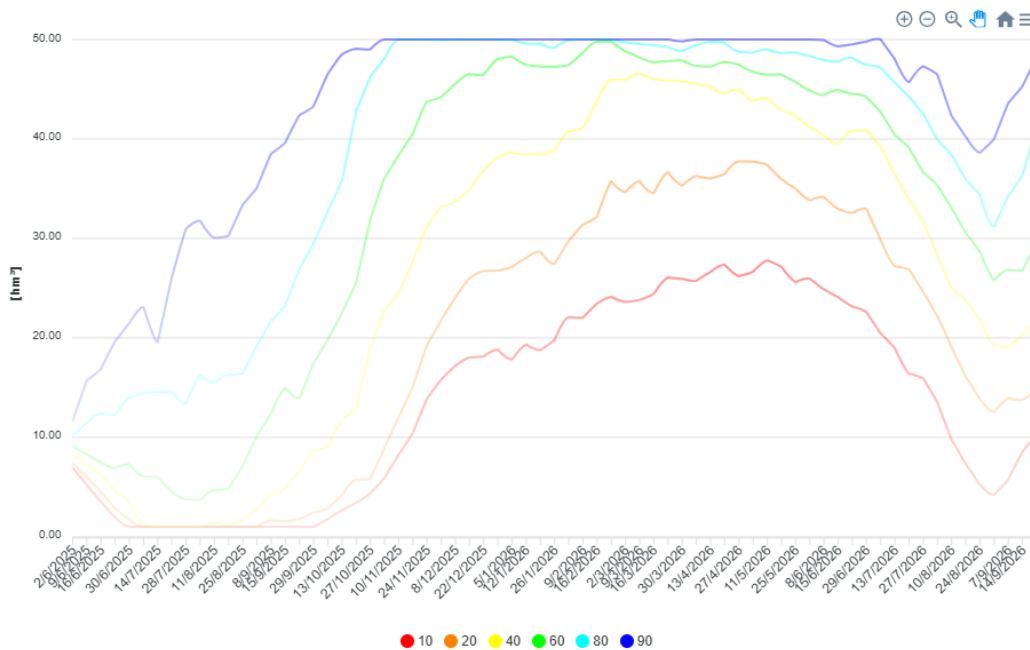
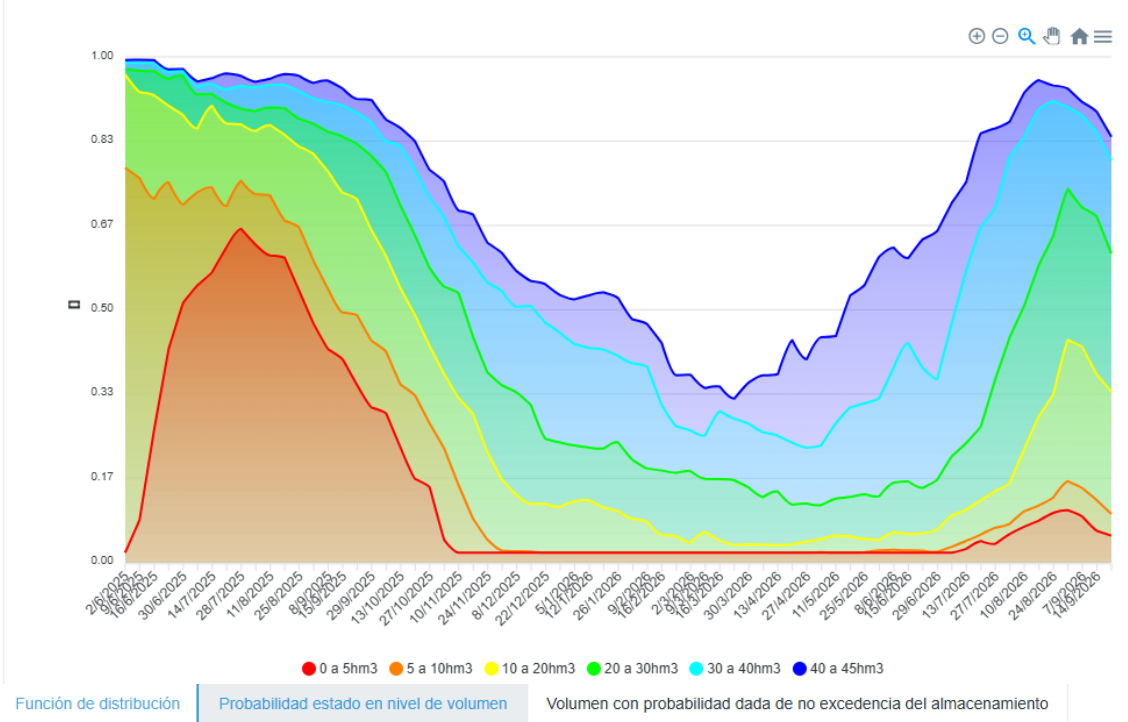


Figura 9: Gráficos de resultados estadísticos de la simulación para el embalse.

En el caso de la demanda, en la Figura 10 se aprecia cómo existe un riesgo bajo (inferior al 20%) de que se produzca fallos en el suministro a la demanda durante el primer verano, y este riesgo se hace inferior al 10% para el segundo año (que según la lectura realizada en los resultados del embalse esta sería una valoración promedio, independiente del estado inicial).

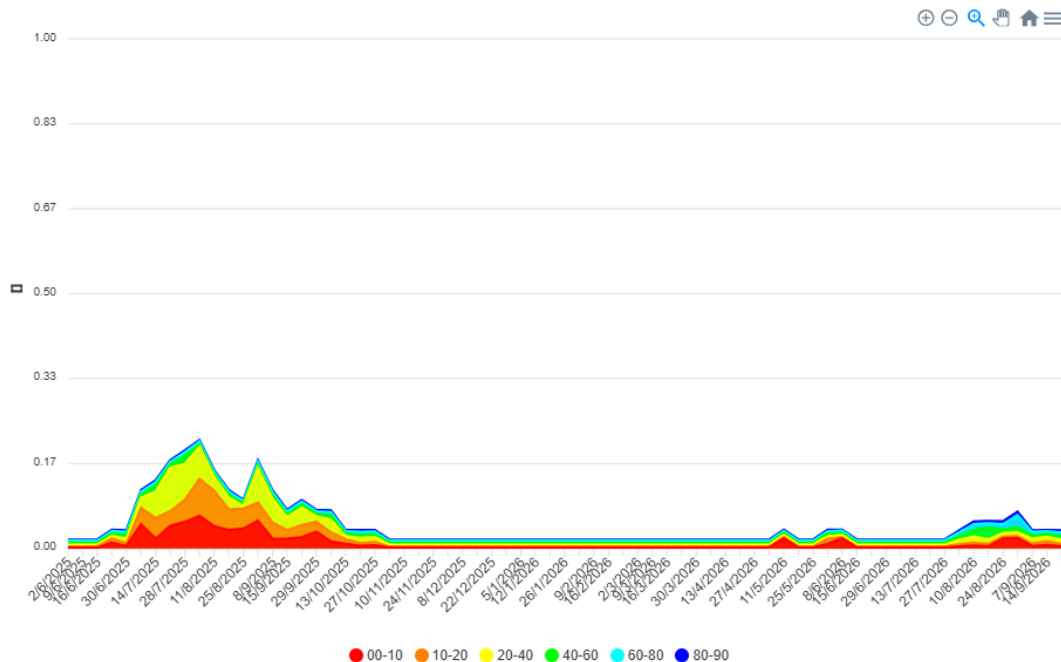
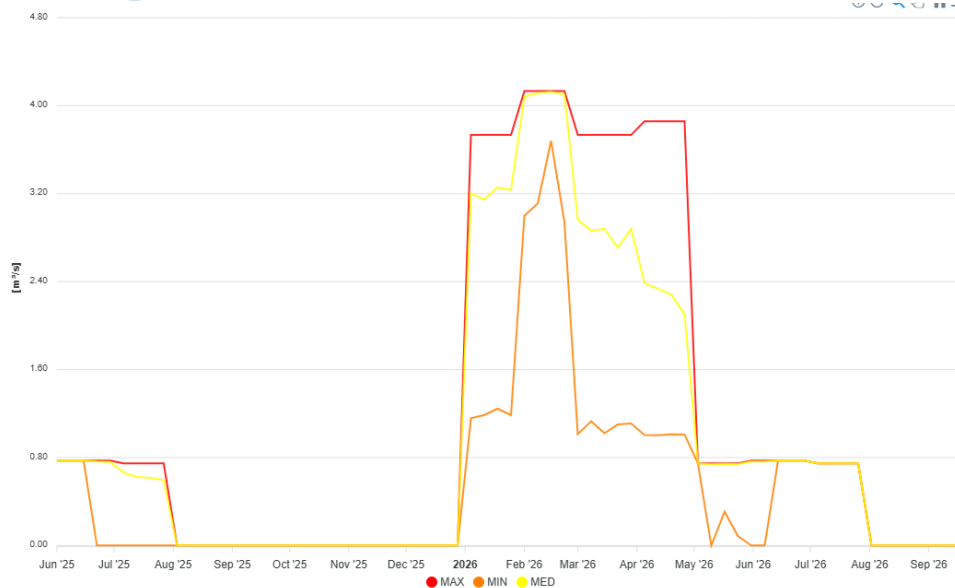


Figura 10: Gráficos de resultados estadísticos de la simulación para la demanda urbana.

6. Análisis de resultados.

Una vez realizada la primera lectura de las proyecciones futuras de estado del sistema, se procedería a valorar si los riesgos diagnosticados son o no admisibles. Si no lo son, el siguiente paso será ensayar alternativas / medidas preventivas para corregir o paliar el riesgo de tener problemas.

En este caso se ensayará algunas reducciones en la asignación a las demandas menos prioritarias. Para estas demandas, aunque no se ha solicitado el cálculo de estadísticos, el programa proporciona también las curvas promedio máximo y mínimo (Figura 11).



TomaAgraria

Resultados Simulación de la gestión

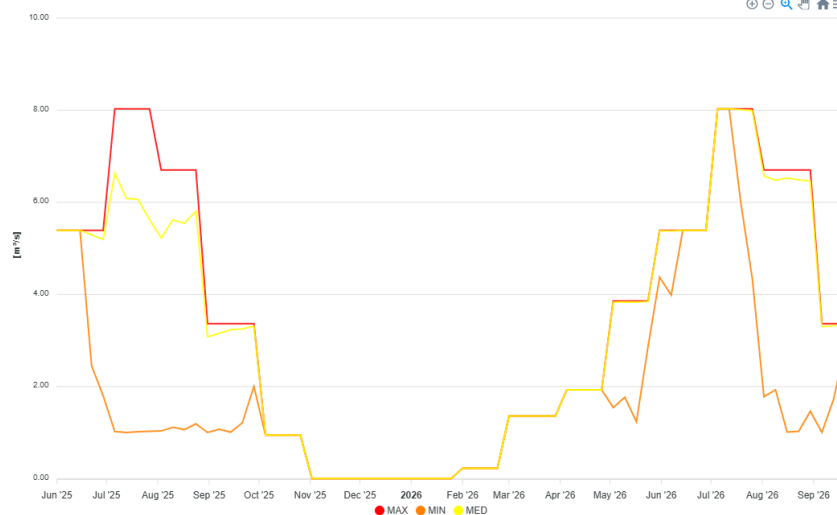


Figura 11: Gráficos de resultados promedio de la simulación para el suministro a las demandas externa y agraria.

Como primera prueba se limitará la asignación a estas demandas en $2\text{m}^3/\text{s}$ para la demanda externa y $6\text{m}^3/\text{s}$ para la agraria. La forma más sencilla de plasmar estas reducciones es mediante la edición de la toma correspondiente y fijando una asignación constante e igual al valor indicado (Figura 12)

Toma externa

Capacidad de suministro

Limita asignación

Límite en asignación por toma [m^3/s]

Un valor constante

2

Figura 12: Reducción de asignación a la demanda en la ficha de la toma.

Esta reducción de asignaciones resultaría en la práctica anulación del riesgo de fallo en el segundo año pero su efecto es escaso para el primer año (Figura 13)

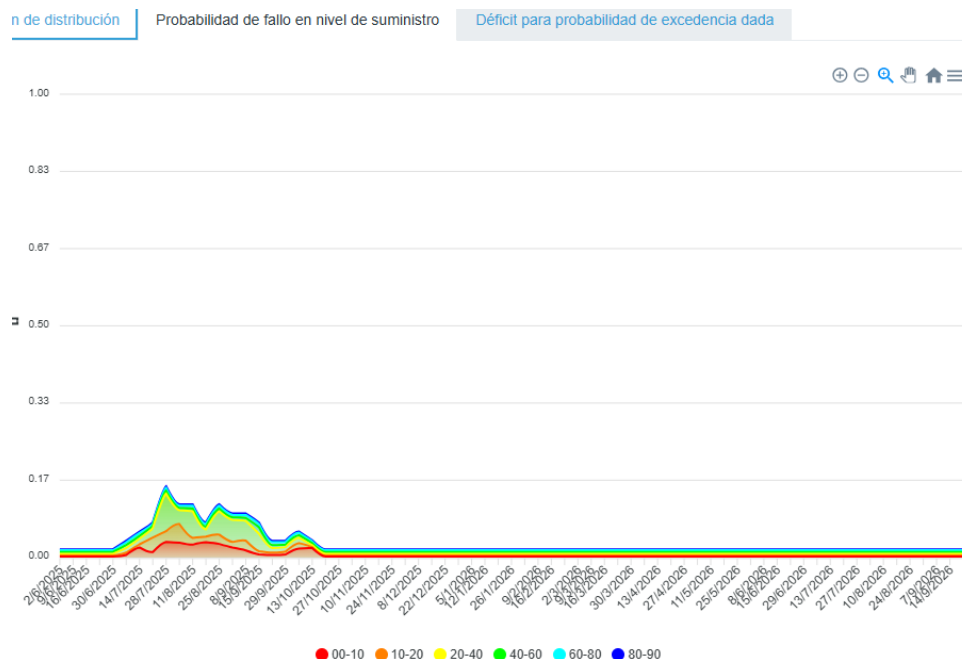


Figura 13: Probabilidad de fallo en la demanda urbana calculado con la 1ª reducción de asignaciones al resto de demandas.

Puesto que el riesgo más preocupante en este análisis sería el de fallos a corto plazo, se podría concluir que la medida anterior no es efectiva. Por tanto, será necesario ensayar medidas más agresivas. A continuación, se ensaya una reducción agresiva en la asignación a estas demandas (demanda externa máximo 1 m³/s, agraria 3m³/s). Como se observa en la Figura 14, esta reducción sí reduciría el riesgo de fallo para la presente campaña.

Este modelo permitiría ensayar cualquier tipo de medida que se plantease para mejorar la situación. Y proporcionaría evaluaciones estadísticas de su eficacia. Se invita al lector a realizar otras pruebas de comportamiento del modelo para juzgar su eficacia, así como a examinar otros formatos de resultados proporcionados para interpretar y valorar la utilidad de los mismos en la defensa de sus argumentos para la mejora del estado del sistema.

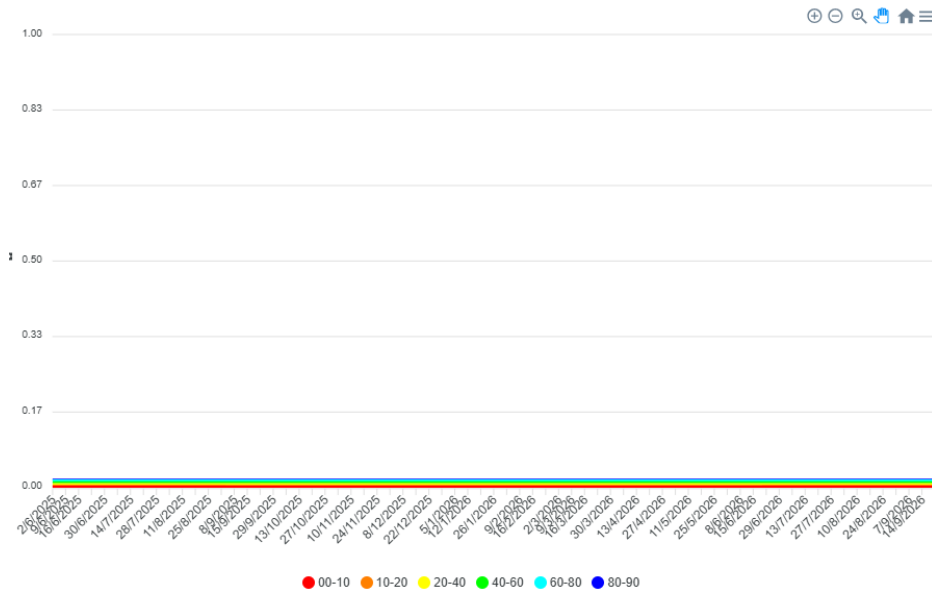


Figura 14: Probabilidad de fallo en la demanda urbana calculado con la 1ª reducción de asignaciones al resto de demandas.

En este ejemplo se ha limitado el análisis al uso de las series de datos históricos como fuente de información para la formulación de pronósticos climáticos. Existen métodos que pueden mejorar la capacidad predictiva del modelo, como modelos estocásticos y las predicciones climáticas. Estas herramientas también pueden ser utilizadas para obtener los datos de entrada a este modelo de análisis de la gestión.