

**Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI
sobre la generación hidroeléctrica**

Acción 4

**Desarrollo de la herramienta informática para la
evaluación de los efectos del cambio climático sobre la
generación hidroeléctrica.**

**FV4.1. Estructura y funcionalidades de la herramienta
informática para la evaluación de los efectos del cambio
climático sobre la generación hidroeléctrica**

Elaborado por Tecnalía

05 / 2021

Con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. FUNCIONALIDADES	5
3. ESTRUCTURA	6
3.1 Módulo 1: Adquisición y tratamiento de información hidrometeorológica.....	6
3.1.1 Proyecciones y escenarios climáticos.....	6
3.1.2 Análisis de ficheros.....	7
3.1.3 Selección de una ubicación concreta y análisis de modelos.....	8
3.1.4 Tratamiento de series de caudales históricos.....	8
3.2 Módulo 2: Estimación de la generación hidroeléctrica.....	8
3.2.1 Sección de introducción de datos	9
3.2.2 Sección de cálculo	10
3.2.2.1 Elemento “Sistema”	10
3.2.2.2 Elemento “Conexión”	11
3.2.3 Sección de visualización	11
3.2.4 Sección “Sequías y avenidas”	12
4. REFERENCIAS.....	13

DECLARACION DE DESCARGO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento ha sido producido con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

Figuras

Figura 1 Cambio relativo en el caudal medio para RCP8.5 para 2080	6
Figura 2 Cadena de modelado	7
Figura 3 Evolución a lo largo del tiempo del cambio en el caudal según un modelo determinado	7
Figura 4 Ejemplo esquemático de complejo hidroeléctrico.....	9
Figura 5 Estructura del módulo de estimación de la generación hidroeléctrica	9
Figura 6 Esquema correspondiente a un embalse.	10
Figura 7 Esquema correspondiente a un elemento de conexión.	11

Tablas

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

1. INTRODUCCIÓN

La producción hidroeléctrica (clave para la transición hacia un modelo energético más sostenible) se encuentra vinculada a los recursos hídricos disponibles, siendo especialmente sensible al cambio climático. Para que los agentes relevantes del sector puedan planificar sus estrategias de adaptación es preciso procesar las proyecciones hidrológicas existentes y combinarlas con información sectorial. Sin embargo, generalmente, estos carecen en la actualidad de las capacidades y recursos necesarios para desarrollar estas tareas.

El objetivo final del proyecto “Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre la generación hidroeléctrica” es superar esta barrera mediante el desarrollo de una metodología y una herramienta informática que simplifique la adquisición de la información climática disponible y su procesamiento, considerando información específica de cada instalación para generar proyecciones de recurso disponible y generación energética.

La metodología a seguir ya se describió en una etapa previa¹, siendo el objetivo del presente documento describir brevemente la **herramienta informática** elaborada para aplicar dicha metodología a la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica. Se muestran, en los siguientes apartados, la estructura y funcionalidades de dicha herramienta.

¹ Metodología para el cálculo del impacto del cambio climático (A3 en su primera versión)

2. FUNCIONALIDADES

La herramienta que se describe en este documento permite realizar una estimación del comportamiento de un sistema hidroeléctrico (una o varias centrales en cascada) a partir de cierta información proporcionada por el usuario: información técnica que caracteriza los sistemas simulados y caudales de entrada al sistema. Incorpora, asimismo, un módulo que facilita la incorporación de la información climática requerida por la herramienta (caudales).

Las principales aplicaciones de la herramienta incluyen:

- El análisis de la generación hidroeléctrica a partir de los caudales de entrada al sistema, pudiendo analizarse diferentes escenarios climáticos (históricos y proyecciones que tengan en consideración el cambio climático) buscando detectar cambios en la generación.
- Facilitar el análisis de la contribución de la infraestructura hidroeléctrica modelada al control de sequías, estudiando el efecto que esta tiene sobre la prevención de caudales muy bajos y mantenimiento del caudal ecológico.
- Facilitar el análisis de la contribución de la infraestructura hidroeléctrica modelada al control de avenidas, evaluando el impacto que podría tener no acumular agua en los embalses para los caudales máximos que circulan por los cauces estudiados.

Con este objetivo, se pueden resumir las principales funcionalidades en:

- Facilitar la adquisición de información hidrometeorológica (caudales) desde fuentes originales.
- Facilitar el tratamiento de la información hidrometeorológica para obtener los caudales de futuro.
- Facilitar la configuración del sistema hidroeléctrico a estudiar (una o varias centrales en cascada configurables por el usuario) y recopilación de las características técnicas requeridas por la herramienta.
- Estimar la generación energética del sistema hidroeléctrico a partir de la información hidrometeorológica introducida (caudales históricos o proyecciones).

Ante la diversidad de fuentes de información a procesar, técnicas aplicables en su tratamiento, posibles configuraciones de la infraestructura hidroeléctrica, etc. se precisan herramientas altamente configurables, por lo que se ha considerado, como opción más adecuada, el desarrollo de un paquete integrado de librerías, funciones, bases de datos y herramientas abiertas, de fácil manejo y gratuitas.

3. ESTRUCTURA

La herramienta informática desarrollada se compone de dos módulos principales:

- Módulo 1: Adquisición y tratamiento de información hidrometeorológica.
- Módulo 2: Estimación de la generación energética de la infraestructura en función de sus características técnicas (configurables por el usuario) y los caudales de entrada.

El primer módulo se ha desarrollado como un libro de Jupyter que se ejecuta en Google Colab, que es una máquina virtual que facilita su ejecución. Los libros de Jupyter permiten, básicamente, combinar el lenguaje de programación python con textos, fotos, vídeos, etc.

Respecto al segundo módulo, se ha desarrollado en Excel, lo que lo hace de uso común y altamente configurable, permitiendo su uso por usuarios no expertos.

3.1 Módulo 1: Adquisición y tratamiento de información hidrometeorológica

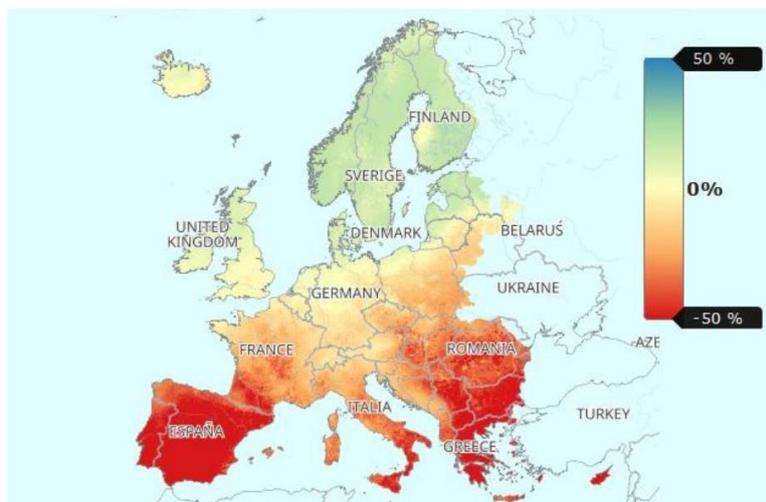
Este módulo se compone de cuatro secciones principales:

- Proyecciones y escenarios climáticos
- Análisis de ficheros
- Selección de una ubicación concreta y análisis de modelos
- Tratamiento de series de caudales históricos

3.1.1 Proyecciones y escenarios climáticos

Para analizar la previsible evolución de la generación hidroeléctrica, es preciso conocer la evolución de los caudales. La herramienta elaborada emplea datos aportados por el servicio de cambio climático de Copernicus. Más concretamente, el conjunto de datos denominado: *“Water sector indicators of hydrological change across Europe from 2011 to 2095 derived from climate simulations”*². A modo de ejemplo, en la figura se aprecia el conjunto de proyecciones que genera para un escenario climático pesimista (que se conoce como RCP8.5).

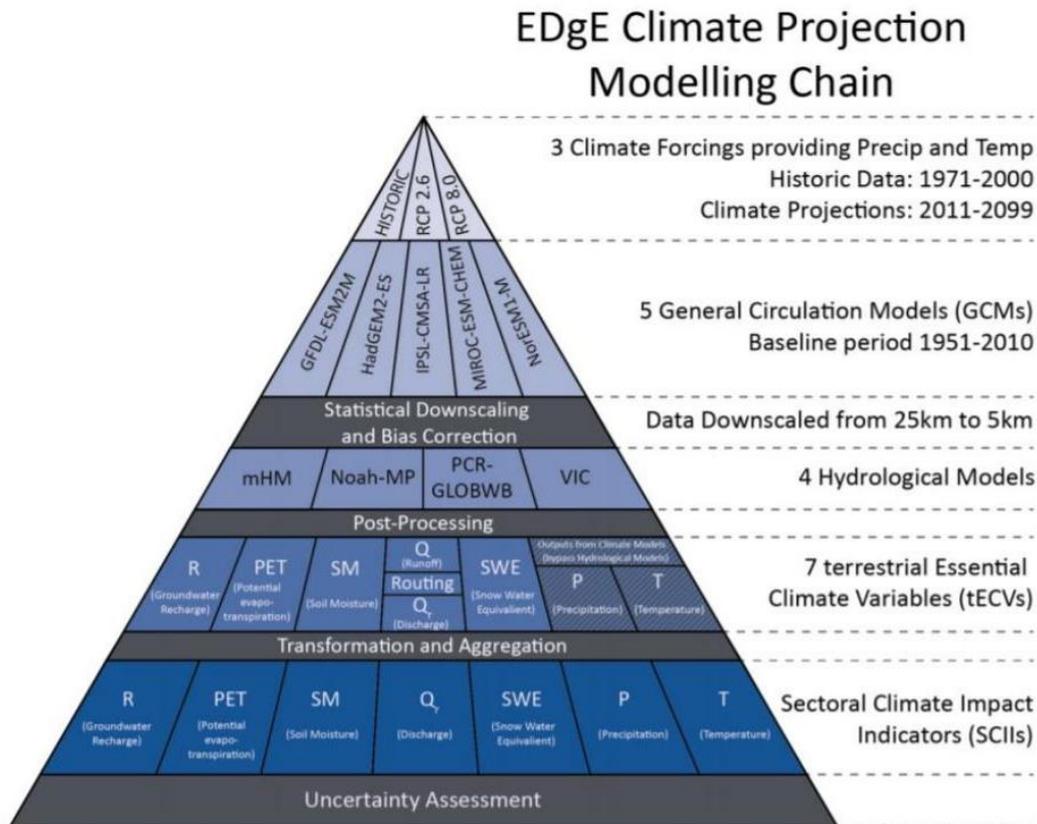
Figura 1 Cambio relativo en el caudal medio para RCP8.5 para 2080



² <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/{dataset/sis-water-hydrological-change?tab=form>

La generación de proyecciones acerca de la previsible evolución de los impactos del cambio climático se aborda generalmente a través de una cadena de hipótesis, escenarios y modelos acoplados. Cuando se accede a estos datos es conveniente tener siempre presente que realmente se están utilizando resultados de diferentes combinaciones, para diferentes escenarios económicos, con diferentes modelos climáticos, etc. La siguiente figura sintetiza una cadena de modelado de este tipo.

Figura 2 Cadena de modelado



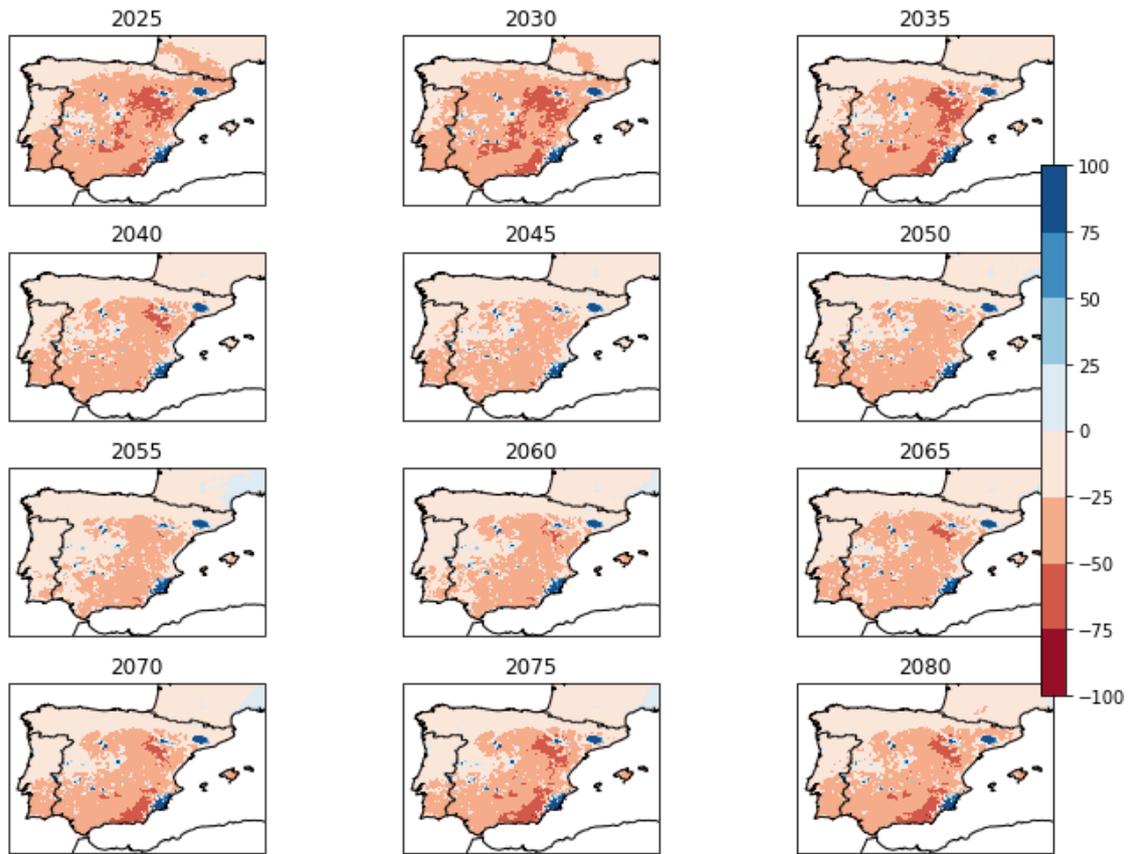
Esta forma de trabajar permite valorar las incertidumbres existentes acerca de la generación de proyecciones, siendo, por tanto, altamente recomendable descargar resultados para varias de estas combinaciones.

3.1.2 Análisis de ficheros

Este apartado muestra cómo se realizaría el análisis de uno de los ficheros descargados, como se extraerían los datos que interesen para el estudio que se está realizando (los cambios relativos), cómo se extrapolaría al análisis de varios ficheros (varios meses) y cómo se obtendría finalmente la media anual de los cambios relativos.

Asimismo, se muestran algunas prácticas habituales en el tratamiento de la información y cómo visualizar los resultados obtenidos. El mapa siguiente muestra, a modo de ejemplo, la evolución a lo largo del tiempo de los resultados que podrían obtenerse para un determinado modelo.

Figura 3 Evolución a lo largo del tiempo del cambio en el caudal según un modelo determinado



3.1.3 Selección de una ubicación concreta y análisis de modelos

Esta sección muestra cómo extraer los datos de una ubicación concreta y cómo trabajar con todas las combinaciones de modelos, escenarios, etc. que requiera el estudio que se está llevando a cabo.

3.1.4 Tratamiento de series de caudales históricos

Una vez que se ha trabajado con las proyecciones de cambio que aporta el servicio de Cambio Climático de Copernicus, éstas se aplican a los datos históricos que representen el clima pasado.

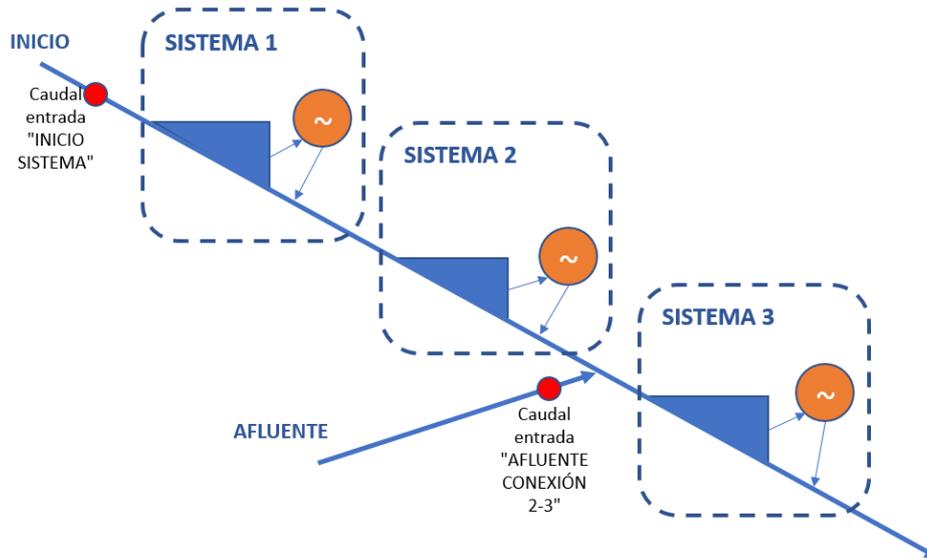
Esta sección guía en este proceso: desde la adquisición de los datos históricos de un aforo y su tratamiento, hasta la forma de aplicar los cambios relativos obtenidos en las secciones anteriores para obtener las proyecciones de caudal. El resultado es la generación de series de caudales que pueden ser explotadas con el siguiente módulo de la herramienta para la estimación de la generación hidroeléctrica.

3.2 Módulo 2: Estimación de la generación hidroeléctrica

Este módulo permite obtener la energía generada a partir de la información hidrometeorológica (caudales) procesada en el módulo 1 y la información proporcionada por el usuario sobre la configuración y características técnicas de la(s) central(es). Para ello, se ha modelado el comportamiento de los diferentes “elementos” que permiten configurar un complejo hidroeléctrico (ejemplo en la Figura 4) formado una o varias centrales hidroeléctricas

de embalse situadas en cascada sobre un cauce principal, con la posibilidad de tener afluentes que viertan a este cauce y/o consumos en diferentes puntos del recorrido (en el ejemplo, entre los sistemas 2 y 3).

Figura 4 Ejemplo esquemático de complejo hidroeléctrico

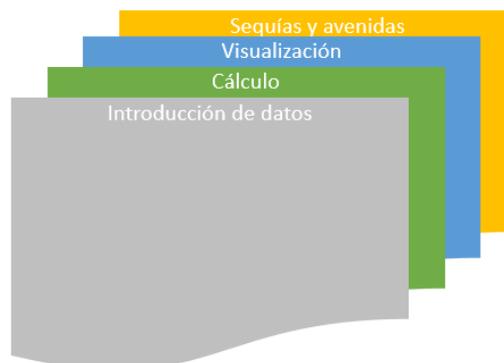


La herramienta se ha dividido en cuatro secciones (Figura 5):

- una sección de **introducción de parámetros de entrada** al modelo (características técnicas de los elementos que conforman cada sistema hidroeléctrico y caudales de entrada al sistema),
- otra sección donde se trabaja con esa información para **estimar la energía generada** y
- una tercera sección en la que se facilita una **visualización gráfica de los resultados** obtenidos.
- por último, se incluye un breve análisis de la contribución de la infraestructura hidroeléctrica modelada al **control de avenidas y sequías**.

Con el objetivo de hacer la herramienta accesible y manejable, se le ha dado un formato de **libro de Excel**, que integra estas secciones en diferentes hojas.

Figura 5 Estructura del módulo de estimación de la generación hidroeléctrica



3.2.1 Sección de introducción de datos

La sección de introducción de datos recopila la información necesaria para hacer funcionar el modelo.

Requiere de dos tipos de información:

- En la hoja “DATOS TECNICOS” se recopila la información que **caracteriza técnicamente la infraestructura hidroeléctrica**: volumen de los embalses, capacidad de desagüe, caudal concesional de las centrales, eficiencias, ...
- En la hoja “CAUDALES” se recopilan **series temporales** de datos para el periodo de análisis. En concreto, se requieren valores diarios de caudales de entrada y salida (ver Figura 4):
 - **caudal de inicio del cauce principal** (sobre el que se sitúa la infraestructura) que da inicio al sistema (aguas arriba del primer elemento del modelo).
 - caudales que alimentan el cauce principal en puntos intermedios (**afluentes**).
 - caudales que se extraen del cauce principal en puntos intermedios para alimentar usos o demandas de agua (**consumos** urbanos, agrícolas, etc.).

La herramienta está inicialmente planteada para trabajar con series de 8 años, aunque es fácilmente configurable para asumir periodos más largos.

3.2.2 Sección de cálculo

Para estimar la generación hidroeléctrica, la herramienta combina dos tipos de elementos:

- Elemento “Sistema”: formado por un embalse y su central hidroeléctrica asociada.
- Elemento “Conexión”: que consiste en un tramo de río o conducto que conecta dos sistemas dentro de un complejo hidroeléctrico.

Cada uno de ellos se ejecuta en una hoja Excel diferente, lo que permite crear cualquier complejo hidroeléctrico mediante la replicación y combinación de nuevas hojas.

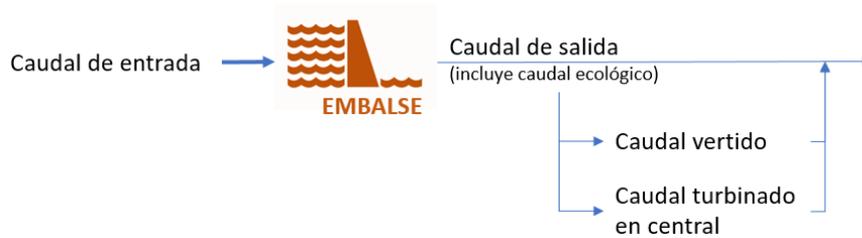
3.2.2.1 Elemento “Sistema”

Se trata de un modelo que simula un embalse y su central asociada.

En el **embalse**, a partir de un caudal de entrada y mediante una serie de reglas de operación, se obtiene un caudal de salida:

- El caudal de entrada: puede corresponder al caudal de inicio del sistema, en caso de que se trate del primer sistema del complejo hidroeléctrico (Sistema 1 de la Figura 4), o al caudal de salida del elemento “Conexión” que le precede (apartado 3.2.2.2).
- El caudal de salida: se determina, para cada paso de tiempo, en función del caudal entrante, el volumen embalsado y las reglas de operación del embalse en situaciones de alerta. De manera general, siempre se cumplen las siguientes reglas:
 - Se garantiza que se cumple con los caudales ecológicos.
 - De este caudal de salida, se turbinan en la central hidroeléctrica el máximo posible, siempre respetando que no se superen los máximos establecidos para la central correspondiente y el embalse esté por encima de su cota de turbinación.
 - La parte que no se pueda turbinar (caudal de salida menos caudal turbinado) se vierte al cauce sin pasar por la central.

Figura 6 Esquema correspondiente a un embalse.



La **central hidroeléctrica** permite estimar la producción de energía a partir del caudal “turbinable” de salida del embalse. Para ello, se multiplica este caudal por el coeficiente energético de la central. Este coeficiente varía en función del volumen útil embalsado en ese momento y se determina a partir de las curvas cota-eficiencia-volumen específicas de la central siempre que se disponga de ellas. Aunque esta opción es la que mejores resultados ofrece, a falta de esta información, se podrá simplificar aplicando un coeficiente energético constante obtenido a partir de un salto bruto “promedio”, la densidad del agua, la eficiencia del sistema (conducción, tubería de presión, válvulas, turbina) y la aceleración de la gravedad.

3.2.2.2 Elemento “Conexión”

Se trata de un elemento que permite conectar dos sistemas hidroeléctricos (podría ser un tramo de río o un conducto) y conecta:

- Un caudal de entrada principal que se corresponde con el caudal de salida del sistema anterior (aguas arriba).
- Unos caudales de entrada/salida que corresponden a otros cauces (afluentes conocidos) o usos (consumos agrícolas, urbanos, etc. conocidos) que modifican el caudal del cauce principal en ese tramo, sumándose o restándose al caudal que circula.
- Un caudal de salida principal como suma de los caudales anteriores y que se convertirá en el caudal de entrada al siguiente sistema aguas abajo.

Figura 7 Esquema correspondiente a un elemento de conexión.



3.2.3 Sección de visualización

La pestaña de visualización recopila los resultados obtenidos (en series agregadas mensualmente) y las representa gráficamente. En concreto, se muestran los caudales extraídos de cada embalse (Hm^3/mes), los caudales ecológicos que se manejan en cada tramo

(Hm³/mes), los caudales turbinados en cada central (Hm³/mes) y la producción de energía en cada central (MWh/mes).

3.2.4 Sección “Sequías y avenidas”

La pestaña “Sequías y avenidas” presenta un breve análisis de la contribución de la infraestructura hidroeléctrica modelada al control de sequías y avenidas, realizando una comparativa con el comportamiento de los cauces si dicha infraestructura no existiera:

- Sequías: efecto que la infraestructura tiene sobre la prevención de caudales muy bajos y mantenimiento del caudal ecológico.
- Avenidas: evaluación el impacto que podría tener para los caudales máximos circulantes no acumular agua en los embalses.

4. REFERENCIAS