

**ANEJO 1. DESARROLLO DE UN NUEVO
MÓDULO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA
MODELACIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS
SISTEMAS**

Contenido

Introducción.....	5
1. Análisis de metodologías de decisión e integración a partir de simulación de hábitat.....	7
2. Diseño de la herramienta.....	13
2.1. Estimación de Series Temporales de Hábitat (STH) y de Curvas de Duración de Hábitat (CDH).....	13
2.2. Acumulación de valores.....	15
2.3. Unidades.....	17
2.4. Análisis e interpretación de resultados.....	17
2.5. Elección del método de acumulación.....	18
3. Proceso de programación de la herramienta.....	21
3.1. Descripción de archivos.....	21
3.2. Archivo de archivos.....	21
3.3. Archivo de datos.....	22
3.4. Archivo de parámetros o coeficientes.....	25
3.5. Archivo de caudales.....	26
3.6. Archivo de series de hábitat total.....	27
3.7. Archivo de curvas de duración de hábitat.....	28
4. Comprobación y validación mediante la aplicación de un caso de aplicación.....	29
4.1. Descripción general de la cuenca del Duero.....	29
4.1.1. Marco administrativo y ámbito territorial.....	29
4.1.2. Marco físico.....	32
4.1.3. Marco climático.....	38
4.1.4. Marco biótico.....	40
4.1.5. Marco socioeconómico y usos del suelo.....	46
4.1.6. Recursos hídricos y demandas.....	47
4.1.7. Datos disponibles.....	52
4.2. Modelo de simulación del sistema de recursos hídricos.....	53
4.2.1. Descripción del modelo SIMGES empleado.....	53
4.2.2. Series totales de hábitat.....	55
4.2.3. Curvas de hábitat potencial útil.....	55
4.2.4. Estimación de las STH. CAUDECO.....	63
4.2.5. Índices y criterios adoptados.....	69
4.2.6. Alcance del estudio.....	76
4.3. Análisis preliminar.....	76
4.3.1. Análisis hidrológico de los regímenes ecológicos.....	76
4.3.2. Descripción de la situación plan.....	82
4.3.3. Descripción de la situación base.....	107
4.3.4. Efecto individual de los regímenes ecológicos.....	152

4.3.5.	Efecto sobre los índices de producción y demandas a escala de cuenca	155
4.3.6.	Efecto sobre los índices de producción y demandas por sistemas de explotación	158
4.3.7.	Efecto sobre los índices de hábitat.....	170
4.3.8.	Valoración de la influencia de los caudales ecológicos	177
4.3.9.	Conclusiones del análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos.....	192
4.4.	Optimización heurística de la imposición de regímenes ecológicos	195
4.4.1.	Estrategia del proceso de optimización.....	195
4.4.2.	Desarrollo del proceso de optimización	198
4.4.3.	Resultados del proceso de optimización	200
4.4.4.	Refinamiento de la optimización	204
4.4.5.	Solución óptima	213
4.5.	Descripción de la situación propuesta.....	214
4.5.1.	Resultados de demandas en la situación propuesta	214
4.5.2.	Producción hidroeléctrica en la situación propuesta	220
4.5.3.	Resultados de hábitat en la situación propuesta	222
4.5.4.	Resumen de resultados en la situación propuesta.....	230
5.	Conclusiones.....	232
6.	Bibliografía.....	238

Introducción

La Directiva Marco de Aguas (DMA) establece como uno de sus objetivos asegurar el buen estado o potencial buen estado de las masas de agua para el 2015. Aunque las referencias a los caudales ecológicos en la DMA son escasas, es obvio que existe una relación entre la consecución de estos objetivos ambientales y la implantación de un régimen de caudales ecológicos en las masas de agua. Hasta el momento, los caudales ecológicos establecidos en el Plan de cuenca no aportaban estudios de las necesidades ecológicas reales y adolecían asimismo de falta de modulación estacional del caudal mínimo. En este sentido, cabe destacar como uno de los objetivos del nuevo ciclo de Planificación la consideración e implantación del régimen de caudales ecológicos. En el momento actual, se está trabajando intensamente en la definición del régimen de caudales mínimos e iniciando la definición del resto de componentes que constituyen un verdadero régimen de caudales ecológicos (régimen de máximos, tasa de cambio y caudal generador).

El objetivo principal de esta parte del proyecto es el desarrollo de un módulo para ayudar en los estudios de planificación y gestión de cuencas hidrológicas. En particular, cuando se tratan problemas de concertación de caudales ecológicos en sistemas de recursos complejos.

El programa permitirá la estimación de las series de Hábitat Total (HT) para diferentes etapas vitales de varias especies y diferentes masas de agua. El producto final de los estudios de simulación de hábitat son curvas de Superficie Ponderada Útil (SPU). Estas curvas relacionan el caudal con la idoneidad del hábitat para un estado vital (etapa) de una especie determinada, generalmente piscícola.

La consecución de este objetivo se sustenta en los 4 objetivos secundarios que se presentan a continuación:

1. Análisis de metodologías de decisión e integración a partir de simulación de hábitat.
2. Diseño de la herramienta: archivos de datos, formas de integración de resultados, etc.
3. Proceso de programación de la herramienta.
4. Comprobación y validación mediante la aplicación de un caso de aplicación.

En este anejo se desarrollan los resultados obtenidos al respecto de cada uno de los objetivos secundarios que permiten, por lo tanto, alcanzar el cumplimiento con el objetivo principal.

1. Análisis de metodologías de decisión e integración a partir de simulación de hábitat.

La metodología que se plantea en este estudio se divide en dos partes bien diferenciadas. Por un lado se tiene la metodología para la producción de los resultados de suministro a demandas, de producción hidroeléctrica y de producción de hábitat potencial útil que se generan con la imposición de distintos regímenes ecológicos. Un esquema de este proceso se muestra en la figura 1.

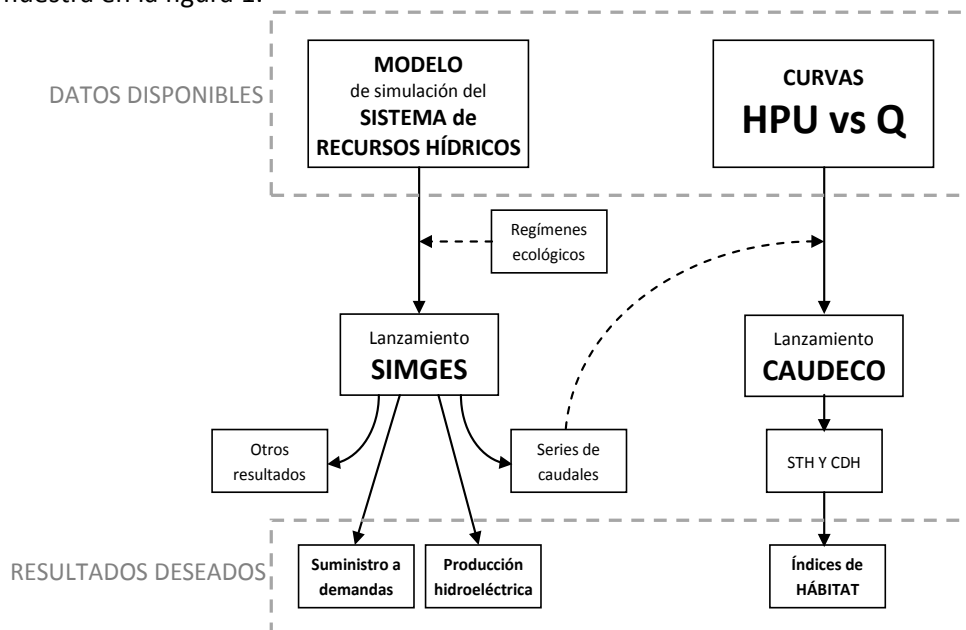


Figura 1. Esquema de producción de resultados para cada combinación de regímenes ecológicos ensayada.

Como se puede observar se tienen, como datos de partida, un modelo de simulación de sistemas de recursos hídricos y cierta información hidrobiológica que consiste principalmente en una colección de curvas HPU-Q para ciertas especies piscícolas en diferentes etapas de desarrollo, en las distintas masas de agua de simulación del hábitat.

Las herramientas para la aplicación de esta primera parte de la metodología son un modelo SIMGES de simulación del sistema de recursos hídricos de la parte española de la cuenca del Duero y el módulo CAUDECO de estimación de Series Totales de Hábitat. Ambas aplicaciones se enmarcan dentro del Sistema Soporte de Decisión AQUATOOL, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

La metodología se completa con la organización de los distintos ensayos del proceso anterior, y el análisis de los resultados que en ellos se producen, según se puede observar en la siguiente figura.

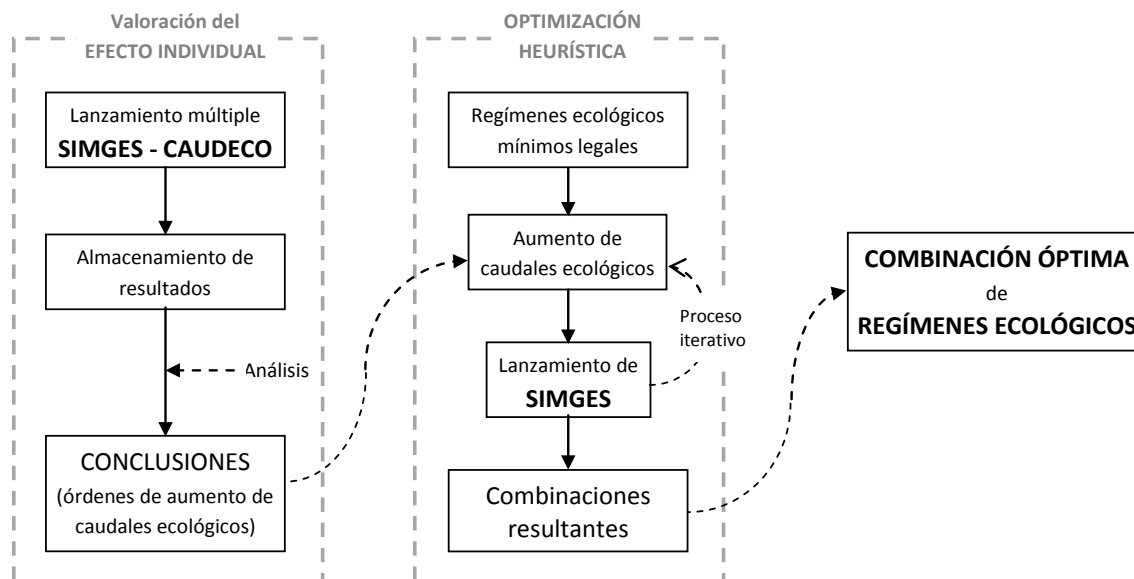


Figura 2. Esquema de organización de las simulaciones en el desarrollo del estudio.

En un primer paso se estima la afección individual de cada régimen ecológico sobre los tres tipos de indicadores evaluados (suministro a demandas, producción de energía hidroeléctrica y producción de HPU) a distintos niveles de agregación (cuenca, sistema de explotación, de detalle). Para ello se implementa una aplicación informática¹ de lanzamiento masivo del módulo SIMGES, y la correspondiente evaluación de las STH mediante CAUDECO, para diferentes valores de caudal ecológico en cada uno de los tramos de simulación del hábitat. Los resultados generados se almacenan en una base de datos para su posterior análisis. Mediante este análisis se determinará la influencia de la imposición de cada régimen ecológico por separado.

El segundo paso consiste en la búsqueda de la combinación de regímenes ecológicos mínimos que consiga una mayor satisfacción del objetivo del estudio. Para ello se parte de los regímenes ecológicos mínimos que se deben imponer por imperativo legal, y de diversos listados ordenados de los tramos de simulación hidrobiológica (los órdenes se deducen del análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos mínimos).

Posteriormente se aumentan iterativamente los regímenes ecológicos mínimos, ensayando con los distintos órdenes establecidos, hasta que alguna unidad de demanda agraria no alcanza el nivel de garantía deseado. Este proceso de optimización requiere también de la realización de una aplicación informática, cuyo esquema y descripción detallada de la misma pueden consultarse en el apartado 1.3.

Para finalizar, se analizan los resultados obtenidos con las distintas combinaciones de regímenes ecológicos resultantes de los ensayos con los diferentes órdenes de aumento de caudal ecológico, y se elige la solución óptima.

Con esta metodología se plantea una forma global e integradora de abordar la definición de caudales ecológicos.

Modelo SIMGES de simulación de sistemas de recursos hídricos

Para el desarrollo del modelo de simulación de la cuenca del río estudiado se utilizará la herramienta SIMGES (Andreu et al. 1996). El modelo SIMGES es un modelo de simulación de la gestión muy aplicado en diferentes cuencas españolas y del extranjero. Se basa en la

¹ El esquema y la descripción detallada de la aplicación informática para la caracterización del efecto individual de cada régimen ecológico mínimo pueden consultarse en el apartado 6.

conceptualización de las cuencas hídricas en redes compuestas por arcos y nudos. Los nudos representan confluencias o divergencias de tramos fluviales, embalses, demandas, etc. Los arcos representan cualquier flujo de agua, ya sea natural o artificial. La combinación de nudos y arcos permite modelar otro tipo de elemento, como centrales hidroeléctricas, retornos al sistema, etc. Los arcos se definen mediante el nudo origen y el final, los flujos máximo y mínimo admisibles y el coste que produce cada unidad de recurso que circula por él.

La simulación se efectúa a nivel mensual. En los subsistemas superficiales el flujo se calcula por continuidad o balance, mientras que los subsistemas subterráneos, los acuíferos, se simulan mediante modelos de celda, unicelulares o pluricelulares, o mediante modelos distribuidos de flujo lineal.

Matemáticamente el modelo de simulación se basa en la resolución, para cada intervalo de tiempo (en este caso el mes), de una red de flujo conservativa y conexa. Bajo estas características el problema de optimización planteado se resuelve eficientemente mediante el uso del algoritmo Out-of-Kilter (Ford y Fulkerson, 1962). La no linealidad de algunos de los procesos como evaporación en embalses, filtraciones, o la modelación de acuíferos se resuelve mediante la resolución de procesos iterativos de la red de flujo. La función objetivo planteada contiene un término para cada uno de los elementos modelados. La contribución de cada tipo de elemento a la función objetivo se efectúa de manera distinta, con fórmulas que tienen en cuenta los diferentes condicionantes de cada tipo de elemento.

La gestión de los recursos hidráulicos se efectúa mediante reglas de operación tendentes a mantener un nivel similar de llenado en los embalses, a partir de unas curvas de zonado de embalse que suministra el usuario. También existe la posibilidad de definir reglas de gestión por las que cuando la reserva hidráulica del sistema, o de una parte de éste, esté por debajo de ciertos valores límite especificados por el usuario, se reduzca el consumo de agua en ciertos elementos (demandas, embalses), o se limite el flujo en algunas conducciones.

El modelo SIMGES se edita desde la interfaz gráfica AQUATOOL, un Sistema Soporte de Decisión que permite crear modelos de cuencas mediante una interfaz intuitiva y amigable para el usuario.

Para un conocimiento más completo del funcionamiento del modelo puede consultarse el manual de SIMGES (Andreu et al. 1992).

SERIES TOTALES DE HÁBITAT

Las series totales de hábitat son series temporales de valores del hábitat potencial útil del que dispondrían en un tramo de río, los individuos de cierta especie piscícola en una determinada etapa del desarrollo vital (alevín, juvenil, adulto o frezadero).

Para determinar las series totales de hábitat son necesarias las series de caudales, que se obtienen de la simulación del modelo SIMGES de la cuenca, y también las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal, que forman parte de la información inicial del presente proyecto. Mediante el programa CAUDECO se combinan estos datos y se generan las series totales de hábitat.

Curvas de hábitat potencial útil

El método del hábitat potencial útil es un método hidrobiológico para el diseño de los regímenes ecológicos de un tramo de río (Beecher 1985; Bovee, 1982; Aennear y Conder, 1983; Mayo, 2000). El elemento fundamental de este método son las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Conceptualmente estas curvas son el resultado de la combinación de un modelo hidráulico fluvial, y las curvas de preferencia de la fauna.

Esta metodología entiende que las características definitorias del hábitat de las especies piscícolas son la profundidad, la velocidad del flujo, el sustrato y el refugio o cobertura. Las curvas de preferencia de hábitat son funciones que indican, tomando valores entre 0 y 1, la

preferencia que tienen los individuos de una especie piscícola en una etapa de desarrollo concreta, por ciertos valores de estas características definitorias de su hábitat. En la figura 3 se muestran ejemplos de curvas de preferencia de hábitat de velocidad de la corriente, de profundidad y de sustrato. El sustrato es una variable cualitativa, pero sus valores se han codificado en números.

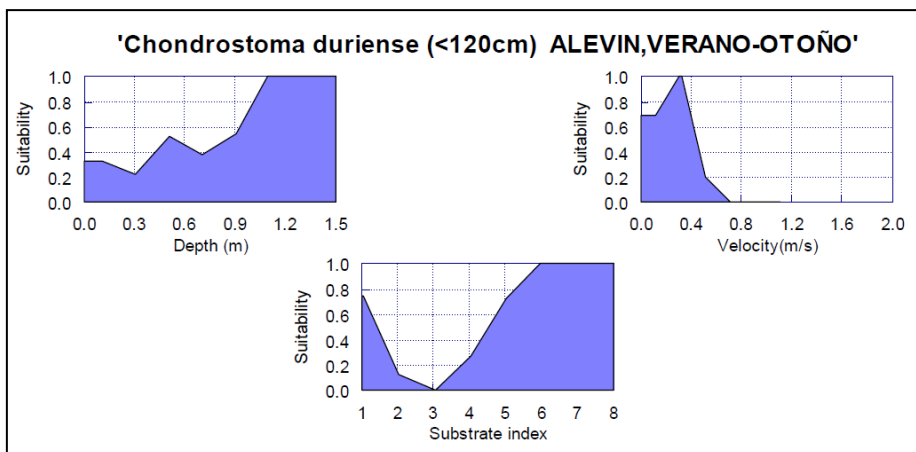


Figura 3. Curvas de preferencia de hábitat. Fuente: Infraeco 2009.

Estimación de las STH. CAUDECO

El empleo de las STH para analizar el efecto de diversas gestiones del sistema en el hábitat representa la evolución directa de la metodología de las curvas HPU-Q. Ya en 1983 Milhous avanzaba su posible uso como función de producción, Waddle (1992) utilizaba las STH para crear un modelo de población potencial, mientras que Cheslack (1990), Nehring (1993) y Bovee (1999) las utilizaban para identificar episodios de estrés o de impacto grave para la supervivencia de poblaciones piscícolas.

Para una mejor interpretación de la información que las STH ofrecen es habitual emplear índices o simplificaciones de estas curvas. Uno de los más utilizados son las Curvas de Duración de Hábitat (CDH), curvas de probabilidad de superación de hábitat que indican el porcentaje de tiempo en el que se supera un valor concreto de HPU. Bovee (1997) las considera muy útiles para identificar la alteración del hábitat tanto en momentos normales como en situaciones extremas.

Otros índices accesorios de las STH son el CUT, Continuous Under Threshold, Capra et al. (1995), que señala periodos de tiempo en los que el hábitat presenta valores por debajo de un umbral predefinido, o el UCUT, Uniform Continuous Under Threshold, Parasiewicz (2008), que mejora el anterior teniendo en cuenta los bioperiodos.

Consideraciones sobre CAUDECO

Para obtener los valores temporales del HPU, es decir, la serie temporal de hábitat, CAUDECO evalúa la curva de HPU en función del caudal, con los valores de caudal de la serie temporal de caudales del tramo en cuestión. Esto es:

$$STH(i) = HPU(Q(i)) * BIOP(i) * \sum_{j=1}^m K_j(C(i))$$

Donde STH(i) es el valor de HPU que toma la serie total de hábitat en el momento temporal i, HPU(Q(i)) es el valor de HPU para un caudal Q(i), que es el valor de caudal de la serie de caudales en el instante i, BIOP(i) es el bioperiodo de la especie-etapa que se está evaluando en

el momento temporal i , y K_j es la capacidad de esa especie-etapa para soportar un contaminante j , que en el momento temporal i se encuentra en una concentración $C_j(i)$.

En caso de presentarse un valor de caudal superior al rango en el que la curva HPU-Q está definida, CAUDECO ofrece el valor de HPU correspondiente al máximo caudal en la que está definida.

Se ofrecen además las correspondientes curvas de duración de hábitat (CDH).

El programa CAUDECO es, en esencia, un evaluador masivo de STH. El cálculo masivo de STH para analizar el efecto de diversas actuaciones sobre un sistema de hábitat es útil en la medida en la que permita extraer información relevante. En éste sentido CAUDECO no solamente muestra las CDH asociadas a cada STH, sino que agrega resultados mediante las acumulaciones. El resultado de las acumulaciones son series temporales acumuladas, resultantes de la combinación de STH con características comunes, y así poder obtener información más general, en un ámbito más extenso. Además, CAUDECO permite la presentación de los resultados de HPU tanto en m^2 como en porcentaje, sobre el máximo valor de HPU de la curva, según el criterio de definición del máximo de HPU que se define en la IPH.

La primera acumulación que hace CAUDECO es la de las etapas de desarrollo, combinando las diferentes STH de una misma especie en el mismo tramo de río, pero de distintas etapas de desarrollo vital (adulto, juvenil, alevín o frezadero) y generando las STH por tramo y por especie. Posteriormente realiza dos acumulaciones más, una por especies, y generando la STH de cada uno de los tramos de río, y la otra por masas de agua, generando la STH de cada una de las especies. Además de presentar todas estas STH también muestra las correspondientes CDH.

Para la confección de estas STH y CDH acumuladas, CAUDECO dispone de diversos métodos de acumulación (promedio ponderado, por pesos, por mínimos). Asimismo existe la posibilidad de definir pesos para las etapas vitales, para las especies y para las masas de agua, de manera que en las acumulaciones, los resultados de unas u otras series tengan una influencia más importante en la serie acumulada resultante.

2. Diseño de la herramienta

El programa "CAUDECO" tiene como objetivo ayudar en los estudios de planificación y gestión de cuencas hidrológicas. En particular cuando se tratan problemas de concertación de caudales ecológicos en sistemas de recursos complejos. El programa permite la estimación de las Series Temporales de Hábitat (STH) para diferentes etapas vitales de varias especies y diferentes masas de agua.

El producto final de los estudios de simulación de hábitat son las curvas de Hábitat Potencial Útil (HPU) que asocian valores de hábitat potencial útil para los individuos de una especie determinada, generalmente piscícola, en una etapa de desarrollo vital concreta (juvenil, adulto, etc.) en una determinada masa de agua, con los caudales circulantes.

En sistemas de recursos hídricos complejos es habitual estudiar diferentes especies en diferentes puntos de la cuenca con lo que finalmente se disponen de múltiples curvas HPU-Q en múltiples puntos. Una vez que se dispone de esta información la técnica más sencilla es fijar los caudales en los distintos puntos de la cuenca analizando las curvas para las especies y etapas más sensibles e intentar establecer un caudal que permite un hábitat mínimo de esa especie-etapa. Otras metodologías se basan en tomar las decisiones de los caudales analizando las series de HPU a partir de los caudales que pueden circular en las masas de agua. El programa que se describe a continuación se basa en estas últimas tendencias.

Los datos necesarios para el modelo son los siguientes:

- Definición de las especies y etapas que se han estudiado en el sistema.
- Definición de las masas de agua para las que se ha realizado el estudio de simulación de hábitat.
- Bioperíodos aplicables a las diferentes especies-etapas estudiadas.
- Definición de las curvas HPU-Q de las diferentes especies-etapas y para las masas de agua que se han estudiado.
- Caudales circulantes en las diferentes masas de agua. Estos caudales pueden provenir de series históricas en régimen natural u obtenerse como resultado de un modelo de simulación de la gestión de la cuenca.

A continuación se describe el proceso de cálculo.

2.1. Estimación de Series Temporales de Hábitat (STH) y de Curvas de Duración de Hábitat (CDH).

Las Series Totales de Hábitat se obtienen mediante la estimación del Hábitat Potencial Útil de cada uno de los caudales que han circulado por la masa de agua multiplicada por la longitud del tramo.

$$STH(i) = SPU(Q(i)) * BIOP(i) * Long * \sum_{j=1}^m i_j(c_j(i))$$

Donde: STH es el valor de la serie temporal de hábitat en el momento temporal i ; SPU es el valor de la curva de Superficie Potencial Útil para el caudal circulante Q en ese momento temporal; BIOP es una función que nos define si esa etapa vital de esa especie aparece en ese momento temporal; Long es la longitud de la masa de agua; i_j es la idoneidad de esa etapa vital de esa especie para un contaminante j cuya concentración en ese momento es $C_j(i)$.

Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Primero se leen los archivos de datos, entre los que se encuentran: el archivo de coeficientes, el archivo de datos y el archivo de caudales de las masas de agua de la simulación dada. En el archivo de datos se definen las especies, las etapas vitales, las masas de agua, los bioperíodos y las curvas HPU-Q.

- Seguidamente se realizan cada uno de los siguientes pasos **para cada** curva HPU-Q definida y **para los caudales de todos los meses** de de la simulación:

1. Se localiza la masa de agua a la que corresponde esa curva y su serie de caudales.
2. Se localiza le especie y la etapa definidas en la curva y se lee el bioperíodo.
3. En caso de que el bioperíodo muestre un valor diferente a cero se calcula el valor del Hábitat Potencial Útil. Para ello se entra en la curva HPU-Q con el valor del caudal correspondiente a ese momento temporal de la serie y se obtiene su valor. Este valor se multiplica por el coeficiente del bioperíodo (generalmente 1) y por la longitud de la masa de agua. En caso de que el valor del bioperíodo para ese momento temporal sea cero el valor asignado será el valor definido en el archivo de coeficientes para momentos es que la etapa no actúa.
4. En caso de que se pidan los resultados en porcentaje se estima el valor de HPU correspondiente al 100% (1) y se saca la serie temporal de hábitat en porcentaje respecto a éste valor.

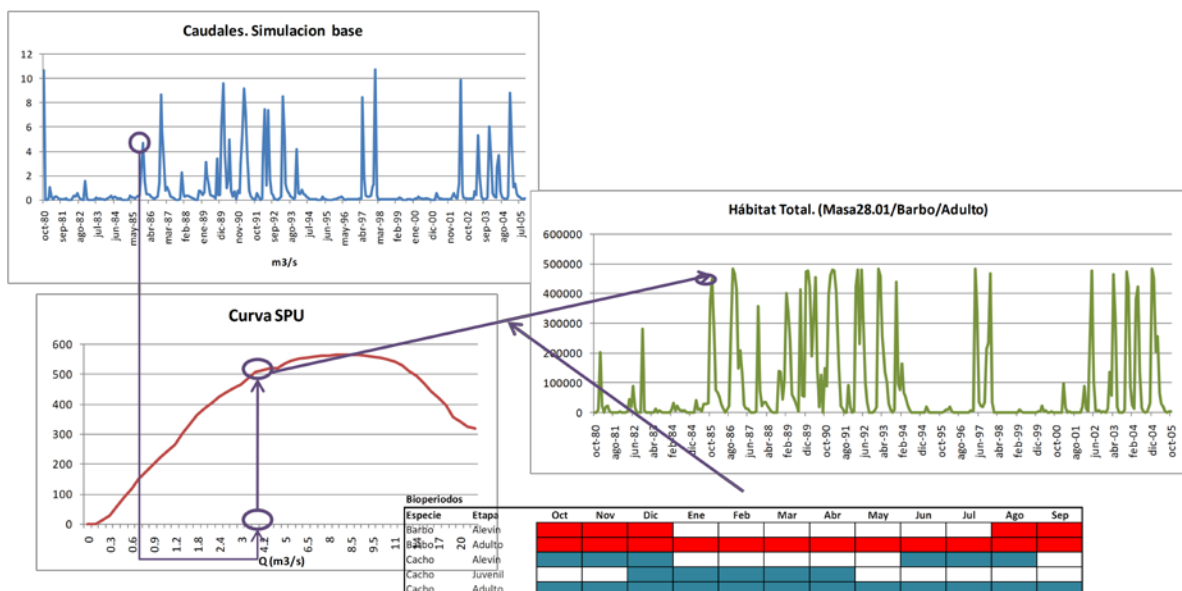


Figura 4. Esquema de cálculo de las series de Hábitat total-

(1) Para la selección del máximo de HPU, la IPH propone los siguientes criterios:

En aquellos tramos en los que las especies presentan un máximo en su curva, se asume ese máximo, siempre contrastándolo con los datos hidrológicos, de tal manera que se encuentre dentro de un rango lógico de caudales ecológicos, que puedan ser asumidos por el tramo.

En los casos en que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, el valor máximo se asume como el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el percentil 10%-25% de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.

Como complemento a los análisis anteriores se debe estudiar también los puntos de cambio de pendiente de las curvas.

En resumen, para cada una de las curvas HPU-Q (cada curva está asociada a una masa de agua, una especie y una etapa) se estima su Serie Temporal de Hábitat. Partiendo de la serie de caudales de la masa de agua para cada caudal se entra en la curva HPU-Q y se obtiene el hábitat potencial útil que proporcionaría la masa de agua para los individuos de la especie-etapa en ese mes (o período temporal).

Partiendo de estas series se obtiene la Curva de Duración de Hábitat (CDH) definida como la cantidad de Hábitat Potencial Útil igualada o superada en un porcentaje del tiempo.

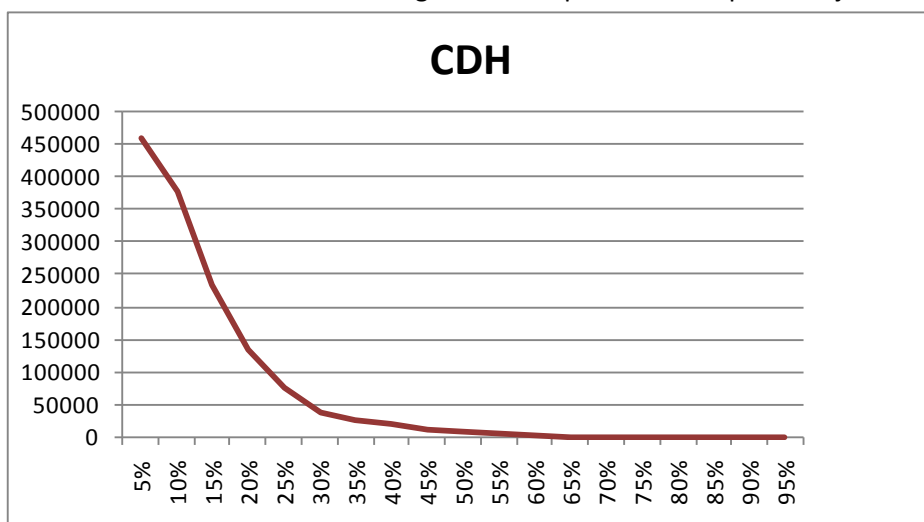


Figura 5. Curva de Duración de Hábitat.

Esta curva se obtiene para cada una de las curvas HPU-Q definidas en el archivo de datos. Los intervalos de superación para los que se estima la curva se especifican en el archivo de coeficientes.

2.2. Acumulación de valores.

Partiendo de todas las STH calculadas se realizan las siguientes acumulaciones:

- Acumulación de Etapas.

Se toman todas las STH de una masa de agua y una especie determinada y se agregan las diferentes etapas. De esta manera se obtienen series temporales de hábitat por masa y especie (p. ej. STH del barbo, en el tramo 2 del río Seco)

- Acumulación de Etapas y Especies.

Partiendo de las STH- Etapas del apartado anterior se agregan las diferentes especies de cada masa de agua. Con ello se obtiene una serie STH que engloba a todas las especies y todas sus etapas vitales para cada masa de agua simulada.

- Acumulación de Etapas y Masas.

Partiendo de las STH-Etapas se pueden agregar las diferentes masas de agua obteniéndose de esta forma STH para cada una de las especies simuladas para todo el sistema.

Existen diferentes métodos para realizar las acumulaciones, escogiéndose mediante ciertos valores en determinados registros del archivo de coeficientes. De esta forma se puede hacer una acumulación de Etapas de forma multiplicativa y posteriormente hacer una acumulación por Etapas y Especie por mínimos. A continuación se definen los tipos de acumulación

2.1. Tipos de acumulación

Actualmente se tiene tres posibilidades de acumulación que son las siguientes:

- Acumulación multiplicativa ponderada por pesos.

En este caso la agregación se realiza mediante la suma ponderada teniendo en cuenta los pesos definidos en el archivo de datos.

- Acumulación promedio ponderado por pesos.

Se asume que la serie acumulada coge el valor de la serie con mayor peso. En caso de que en el mes (o momento temporal) de cálculo la etapa que se esté agregando no tenga valor (porque según el bioperiodo no aplique en ese mes) entonces se cogerá la siguiente etapa de mayor peso y así sucesivamente.

- Acumulación por mínimo.

En cada momento el valor de la serie acumulada se obtendrá como el valor mínimo, en porcentaje o en m^2 , de las diferentes series a agregar.

Para cada masa de agua, especie y etapa vital se define un peso diferente en el archivo de datos. Estos pesos deben ser superiores a cero. A mayor peso mayor importancia.

Notas sobre las acumulaciones:

- El resultado de algunas acumulaciones no tiene por qué tener sentido físico ni homogéneo. Esto se hace más significativo cuando la acumulación se realiza con resultados producidos en porcentaje. *Por ejemplo cuando se hace una acumulación por mínimos en porcentaje la serie acumulada obtenida se puede estar refiriendo a porcentajes de diferentes máximos.*
- El resultado de algunas acumulaciones puede ser poco informativo. Esto puede ocurrir cuando la acumulación se realiza en resultados de hábitat en m^2 . *Por ejemplo cuando se acumulan series de hábitat de valores altos y de valores mucho menores, las*

variaciones del hábitat de la series de menor valor no quedan representadas en la acumulación.

- La acumulación se puede definir por diferentes métodos en cada uno de los escalones de la agregación. *Por ejemplo puedo acumular etapas vitales por el método de los mínimos y etapas y masas de agua por el de los pesos acumulativos.*
- Diferentes formas de acumulación pueden dar resultados diferentes. Conviene contar con un experto para su definición.
- También se obtienen resultados de curvas de frecuencia de las series acumuladas
- La ventaja de su uso es que nos permite obtener series temporales completas así como índices para tomas de decisión.

2.3. Unidades.

En el archivo de coeficientes se definen dos parámetros que permiten gestionar las unidades. Estos son:

- Parámetros para transformar las unidades de caudales del archivo de caudales. Si este archivo proviene de un modelo de simulación es habitual que los caudales vengan en hm^3/mes mientras que los caudales de la definición de curvas es probable que vengan en m^3/s . Por defecto se considera un coeficiente que pasa de hm^3/mes a m^3/s .
- Cambio de unidades de las curvas HPU-Q. Los valores de HPU de las curvas HPU-Q pueden darse en m^2/m , $\text{m}^2/1000\text{m}$, o simplemente en m^2 . En el programa se considera que las curvas se han definido en m^2/m por lo que este parámetro por defecto viene con un valor 1. En caso de que se hayan introducido las curvas con la segunda opción (o cualquier otra) se debe cambiar el coeficiente.

2.4. Análisis e interpretación de resultados

El hábitat físico representa el área o espacio en un río que puede ser utilizada por una etapa vital de una especie (generalmente piscícola).

La incorporación del análisis de series de hábitat a los modelos de simulación de cuencas permite identificar alternativas que mejoren el potencial de hábitat.

La comparación entre las series temporales de caudales y las de hábitat muestran por un lado que las de caudales tienen mucha mayor variabilidad y por otro que pequeños descensos de caudal en ciertos momentos del año pueden implicar grandes reducciones de hábitat físico.

Por todo esto el análisis de STH es un método muy útil para evaluar diferentes reglas de gestión en un sistema de recursos hídricos.

Entre las diferentes formas de comparación podemos distinguir:

- Comparación directa de varias STH correspondientes a diferentes alternativas de gestión.
- Análisis de los momentos temporales más complicados. E identificación de la resiliencia y la vulnerabilidad del hábitat en el sistema.
- Obtención de estadísticos en valores de hábitat o pérdidas del mismo. Medias, percentiles, etc.

- Comparación de curvas de duración de hábitat de diferentes alternativas. Siendo estas particularmente útiles para identificar las épocas de períodos extremos.

2.5. Elección del método de acumulación.

Según los coeficientes para la definición de unidades de los resultados de hábitat y para la elección del tipo de acumulación, CAUDECO realiza lo siguiente:

Salida de resultados: m², coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

Método de acumulación: multiplicativa ponderada, coef. método de acumulación igual a 0.

Descripción: suma ponderada de los valores de HPU en m²

$$HPU_{acumulada}(m^2) = \sum_i p_i \cdot HPU_i(m^2)$$

Salida de resultados: m², coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

Método de acumulación: promedio ponderado, coef. método de acumulación igual a 1.

Descripción: promedio ponderado de los valores de HPU en m²

$$HPU_{acumulada}(m^2) = \frac{\sum_i p_i \cdot HPU_i(m^2)}{\sum_i p_i}$$

Salida de resultados: m², coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

Método de acumulación: mínimo de m², coef. método de acumulación igual a 2.

Descripción: mínimo valor de HPU en m²

$$HPU_{acumulada}(m^2) = \min[HPU_i(m^2)]$$

Salida de resultados: %, coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

NOTA: para realizar este tipo de acumulación es necesario el valor 0 en este coeficiente, pese a que la salida de resultados sea en %.

Método de acumulación: promedio de % ponderado, coef. método de acumulación igual a 3.

Descripción: promedio ponderado de los valores de HPU en %

$$HPU_{acumulada}(\%) = \frac{\sum_i p_i \cdot HPU_i(\%)}{\sum_i p_i}$$

Salida de resultados: m², coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

Método de acumulación: mínimo de %, coef. método de acumulación igual a 4.

Descripción: mínimo valor de HPU en %, presentado en m²

$$HPU_{acumulada}(m^2) = superficie\{ \min[HPU_i(\%)] \}$$

Salida de resultados: %, coeficiente de unidades de HPU igual a 1.

Método de acumulación: multiplicativa ponderada, coef. método de acumulación igual a 0.

Descripción: suma ponderada de los valores de HPU en m², dividida por la suma ponderada de los máximos de HPU de cada serie, en m²

$$HPU_{acumulada}(\%) = \frac{\sum_i p_i \cdot HPU_i(m^2)}{\sum_i p_i \cdot \max [HPU_i(m^2)]} \cdot 100$$

Salida de resultados: %, coeficiente de unidades de HPU igual a 1.

Método de acumulación: promedio ponderado, coef. método de acumulación igual a 1.

Descripción: suma ponderada de los valores de HPU en m², dividida por la suma ponderada de los máximos de HPU de cada serie, en m² y todo ello por el sumatorio de los pesos de las series acumuladas

$$HPU_{acumulada}(m^2) = \frac{\sum_i p_i \cdot HPU_i(m^2)}{\sum_i p_i \cdot \max [HPU_i(m^2)]} \cdot 100$$

Salida de resultados: %², coeficiente de unidades de HPU igual a 2.

Método de acumulación: mínimo de m², coef. método de acumulación igual a 2.

Descripción: mínimo de m² presentado en porcentaje

$$HPU_{acumulada}(\%) = \text{porcentaje} \{ \min [HPU_i(m^2)] \}$$

Salida de resultados: %, coeficiente de unidades de HPU igual a 1.

Método de acumulación: mínimo de %, coef. método de acumulación igual a 4.

Descripción: mínimo valor de HPU en %, presentado en m²

$$HPU_{acumulada}(\%) = \min [HPU_i(\%)]$$

LÍNEAS FUTURAS INMEDIATAS

Actualmente se está trabajando en las siguientes líneas:

- Aplicar en la estimación del hábitat total índices de idoneidad referentes a la calidad del agua. Ello permitirá tener en cuenta el aspecto cualitativo del recurso.
- Análisis de sensibilidad. Se está trabajando para que se puedan obtener la influencia de la incertidumbre en las curvas en los resultados de Hábitat finales.

3. Proceso de programación de la herramienta.

3.1. Descripción de archivos

Los archivos del modelo son como mínimo 5. El archivo de archivos nos indica el nombre del resto de los archivos a utilizar. El archivo de datos especifica la mayor parte de información sobre las especies, etapas, bioperiodos, masas de agua y curvas HPU-Q, el archivo de caudales contiene la información de los caudales simulados para las diferentes masas de agua. El archivo de coeficientes contiene parámetros que pueden considerarse fijos entre diferentes modelos. Tras realizarse la simulación se generan los archivos de resultados. El primer archivo de resultados contiene las series de Hábitat para cada una de las series HPU del archivo de datos. Si se opta por sacar resultados estadísticos el segundo archivo de resultados contiene las curvas de duración de hábitat.

3.2. Archivo de archivos

Este archivo contiene los nombres de los archivos necesarios para el desarrollo del modelo.

1er registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de archivos del programa DECAU*****

2º registro. Contiene la siguiente etiqueta: **"Version"** seguida del número de versión número compuesto por una unidad y un decimal.

3er registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de Coeficientes*****

4º registro. Nombre del archivo de coeficientes.

5º registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de datos*****.

6º registro. Nombre del archivo de datos.

7º registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de caudales*****.

8º registro. Nombre del archivo de caudales de las masas de agua.

9º registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de errores*****.

10º registro. Nombre del archivo de incidencias.

11º registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de resultados*****.

12º registro. Nombre del archivo de resultados de las STH no acumuladas.

13º registro. Contiene la siguiente etiqueta: *****Archivo de resultados curvas frecuencia*****.

14º registro: Nombre del archivo de resultados de CDH no acumuladas.

15º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo de resultados HTS Masas-especies***”.

16º registro. Nombre del archivo de resultados de las STH por masa y especie.

17º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo CDH Masas-Especies***”.

18º registro: Nombre del archivo de resultados de CDH por masa y especie.

19º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo de resultados HTS Masas***”.

20º registro. Nombre del archivo de resultados de las STH por masa.

21º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo CDH Masa***”.

22º registro: Nombre del archivo de resultados de CDH por masa.

23º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo de resultados HTS Especies***”.

24º registro. Nombre del archivo de resultados de las STH por especie.

25º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo CDH Especie***”.

26º registro: Nombre del archivo de resultados de CDH por especie.

27º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Extracciones_Caudales ***”.

3.3. Archivo de datos

El archivo de datos contiene la información principal del modelo. Es un archivo etiquetado con las siguientes partes diferenciadas por las cadenas de texto que aparecen entre corchetes.

Parte 1ª. Cabecera.

Comienza con la etiqueta: <ARCHIVO_DATOS>

Seguidamente de esta etiqueta los dos registros siguientes son dos cadenas de texto indicativos de los títulos de la simulación.

Parte 2ª. Definición de especies.

Comienza con la etiqueta: <ESPECIES>

Seguidamente de esta etiqueta se deben encontrar los siguientes registros.

Registro 1 (número entero): Número de especies contempladas.

A continuación se tendrán tantos registros como número de especies definidas en el registro anterior. Cada registro viene definido por los siguientes campos:

- Código de la especie: número entero.
- Peso de la especie: valor real.
- Etiqueta identificativa de la especie.

Parte 3ª. Definición de etapas vitales.

Comienza con la etiqueta: <ETAPAS>

Seguidamente de esta etiqueta se deben encontrar los siguientes registros.

Registro 1 (número entero): Número de etapas contempladas.

A continuación se tendrán tantos registros como número de etapas definidas en el registro anterior. Cada registro viene definido por los siguientes campos:

- Código de la etapa: número entero.
- Peso de la etapa: valor real.
- Etiqueta identificativa de la etapa.

Parte 4ª. Definición de masas de agua.

Comienza con la etiqueta: <MASAS>

Seguidamente de esta etiqueta se deben encontrar los siguientes registros.

Registro 1 (número entero): Número de masas de agua consideradas.

A continuación se tendrán tantos registros como número de masas indicadas en el registro anterior. Cada registro viene definido por los siguientes campos:

- Código de la masa de agua: Este número real sirve como identificador de la masa de agua. **IMPORTANTE:** No es de libre elección ya que indica la posición de la columna del archivo de caudales donde se ubican los caudales de esa masa de agua.
- Peso de la masa de agua para su posterior integración
- Longitud de la masa de agua: valor real. **NOTA:** en caso de curvas de HPU-Q en m^2 , introducir el valor 1 como longitud de la masa de agua, como coeficiente para el paso de las unidades de los datos de HPU (2º valor del 3º registro del archivo de coeficientes)
- Nombre de la masa de agua.

Parte 5ª. Definición de bioperiodos.

En esta parte se definen los períodos para las diferentes Especies/etapas con las que se vaya a trabajar. Se define a partir de la etiqueta <BIOPERIODOS>

Seguidamente de esta etiqueta se deben encontrar los siguientes registros.

Registro 1 (número entero): Número de bioperiodos a definir.

Por cada bioperiodo (tantos como número definido) se tienen dos registros:

- Primer registro: consta de dos números enteros indicando el código de la especie y la etapa para los que se define el bioperiodo.
- Segundo registro: consta de doce valores reales que definen el bioperiodo en cada mes del año hidrológico. En principio estos valores serán 0 ó 1. El valor de 0 se aplicará cuando la especie-etapa no se dé en ese mes y el valor de 1 cuando sí que se produzca. Si se quisiera se pueden utilizar valores intermedios.

Parte 6ª. Definición de curvas HPU-Q.

En esta parte se definen las curvas HPU-Q. El primer registro es la etiqueta <CURVAS_SPU>.

El siguiente registro a la etiqueta es un valor entero que representa el número de curvas que se van a definir.

Para cada curva se definen los siguientes registros:

- Etiqueta de tipo cadena de texto con un nombre identificativo de la curva.
- El siguiente registro consta de 5 valores enteros. Son los siguientes:
 - El primer valor se corresponde con el número de valores que contiene la curva que se define.
 - El segundo valor se corresponde con el código de la masa de agua para la que está definida esta curva.
 - Seguidamente, un valor recoge el código de la especie para la que está definida esta curva.
 - El cuarto campo se refiere al código de la etapa vital para la que se define la curva.
 - El quinto valor especifica el caudal por debajo del cual se debe buscar el máximo valor de HPU para asociarlo al 100% de HPU. Si se quiere que el 100% de HPU coincida con el máximo valor de HPU de la curva, este campo debe contener el valor 0. (ver comentario 1, en la pg. 3)
- El siguiente está compuesto por tantos valores como el valor definido previamente para número de elementos de la curva. Estos valores son representativos del caudal. Se asume que el caudal se introduce en m³/s. En caso contrario se deberá revisar las unidades en el archivo de coeficientes.

- El último registro formado por el mismo número de valores que el anterior recoge los valores de HPU de esa curva. En general se puede trabajar con valores de HPU o de APU pero esto se debe tener en cuenta en el coeficiente de unidades definido en el archivo de coeficientes.

3.4. Archivo de parámetros o coeficientes

El archivo de parámetros o coeficientes es un archivo que recoge valores de cambios de unidades, opciones de resultados etc. Viene definido de la siguiente forma.

1er registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Archivo de parametros para el programa Decau***”

2º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Unidades***”.

3er registro. Definido por dos valores. El primero representa el paso de unidades de los caudales definidos en archivo de caudales de masa de agua a las unidades de los caudales de las curvas SPU definidas. El valor puesto por defecto representa el paso de hm^3/mes (unidades que suelen manejar los modelos de simulación) a m^3/s (unidades que suelen utilizarse para la definición de curvas).

El segundo valor del registro representa un coeficiente para pasar las unidades de la curva HPU-Q a m^2/m . Para estimar las series de hábitat total los valores de HPU de las curvas se multiplican por la longitud de la masa de agua en metros. En general si las curvas se han introducido en valores de HPU ($\text{m}^2/1000\text{m}$) este coeficiente debe ser 1000. En caso de que los valores se hayan introducido en APU (m^2/m) este coeficiente debe valer 1. Si la curva HPU-Q se especifica en m^2 , introducir el valor 1 y especificar una longitud unitaria para las masas de agua (Archivo de datos)

4º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “*** Valor por defecto no crono***”.

5º registro. Contiene el valor que se asigna a las curvas temporales en la salida de resultados cuando esa Especie-Etapa no se aplica en ese mes. **Nota importante:** este número debe ser un valor negativo. En el caso por defecto se ha optado por un valor de “-999”.

6º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Resultados***”.

7º registro. Contiene un valor entero. Si es 0 se obtienen valores de series de Hábitat total en m^2 . Si es uno las series se obtienen en porcentaje respecto al máximo hábitat posible de esa curva.

8º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Tipo de acumulacion***”.

9º registro. Contiene tres valores enteros. Cada valor define la acumulación de etapas (resultado Masa-especie), especies (resultado por masas) y masas (resultado por especies). Si es 0 la acumulación se hace utilizando el método multiplicativo. Si es 1 se utiliza el método de la sensibilidad para la acumulación. Si es 2 la acumulación se realiza por mínimos.

10º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Max Elem Curva***”.

11º registro. Valor entero que representa el máximo valor de elementos que puede tener una curva HPU-Q. Por defecto contiene un valor de 500.

12º registro. Contiene la siguiente etiqueta: “***Estadistico***”.

13º registro. Valor entero para activar los resultados estadísticos. Un valor de 0 no se obtienen resultados estadísticos y en el archivo de curvas de duración de hábitat aparecerán las series de hábitat pero ordenados de menor a mayor los valores. Un valor de 1 activa la opción estadística.

14º registro: Valor entero que indica el número de percentiles que obtiene la curva de duración de hábitat.

15º registro: tantos valores como el registro anterior indica. Representa los porcentajes para estimar la curva de duración de hábitat.

3.5. Archivo de caudales

El archivo que contiene la información de los caudales circulantes debe tener el formato que se especifica a continuación. El formato de lectura es por etiquetas por lo que es importante que las etiquetas contengan exactamente lo que especifica.

1. Etiqueta <NUMEROSERIES>

El siguiente registro a esta etiqueta contendrá un número entero representativo del número de series que contiene el archivo.

2. Etiqueta <NUMERODATOS>

El siguiente registro a esta etiqueta contiene el número de datos que contiene cada serie.

3. Etiqueta <RESULTADOS>

A partir de esta etiqueta deben de estar los siguientes registros.

- el primer registro contiene tantos campos como número de series se hayan especificado. Cada campo contiene el código de la masa de agua.

- Los siguiente N registros están compuestos, cada uno de ellos, por los caudales de las masas de agua especificadas en el primer registro. Donde N es el número de datos.

3.6. Archivo de series de hábitat total

Este archivo contiene los resultados de las serie de hábitat total para cada una de las curvas HPU-Q definidas en el archivo de datos. El nombre del archivo viene definido en el archivo de archivos.

El archivo recoge la siguiente información. El primer registro contiene los nombres de las curvas HPU-Q definidas en el archivo de datos.

Los siguientes registros, tantos como meses de simulación, representan el conjunto de valores de hábitat total para cada una de las curvas.

6. ARCHIVO DE SERIES DE HÁBITAT TOTAL AGRUPADAS.

Este archivo recoge las Series de Hábitat Total agrupadas. El archivo recoge la siguiente información.

- El primer registro contiene la etiqueta: <Acumulacion_por_etapas>.

- El segundo registro contiene tantos campos como combinaciones de Masas de agua – especie salgan de la definición de las curvas HPU-Q.

Los siguientes registros, tantos como meses de simulación, se corresponden con los valores de Hábitat Total, de la agregación por etapas realizada.

- Seguidamente a este grupo de registros aparecerá una nueva etiqueta: <Acumulacion_por_etapas_y_especies> indicando que se entra en la parte de agregación de etapas vitales y especies.

- El registro siguiente está formado por tantos campos como masas de agua se hayan definido. Cada campo contiene el nombre de la masa de agua definido en el archivo de datos.

- Los siguientes registros, tantos como meses de simulación, se corresponden con los valores de Hábitat Total, de la agregación por etapas y especies realizada. Cada registro contiene tantos campos como masas de agua se han definido.

- Seguidamente aparecerá la etiqueta: <Acumulacion_por_etapas_y_masas> indicando que se entra en la acumulación por etapas vitales y masas de agua.

El registro siguiente está formado por tantos campos como especies se hayan definido. Cada campo contiene el nombre de la especie definido en el archivo de datos.

- Los siguientes registros, tantos como meses de simulación, se corresponden con los valores de Hábitat Total, de la agregación por etapas y masas de agua realizada. Cada registro contiene tantos campos como especies se han definido.

3.7. Archivo de curvas de duración de hábitat

Este archivo contiene los datos de la cantidad de hábitat igualada o superada durante un tanto por ciento del tiempo definido. El archivo recoge la siguiente información.

- El primer registro contiene los nombres de las curvas HPU-Q definidas en el archivo de datos.

- Los siguientes registros, tantos como percentiles definidos en el archivo de coeficientes, representan los valores de superación de hábitat de cada percentil definido.

- Seguidamente aparecerá la etiqueta: <Acumulacion_por_etapas>.

- El segundo registro contiene tantos campos como combinaciones de Masas de agua – especie salgan de la definición de las curvas HPU-Q. Cada campo recoge el nombre de la masa de agua seguido de la etapa.

- Los siguientes registros, tantos como percentiles definidos en el archivo de coeficientes, representan los valores de superación de hábitat de cada percentil definido para las series de Hábitat acumuladas por etapas.

- A continuación aparecerá la etiqueta: <Acumulacion_por_etapas_y_especies>.

- El segundo registro contiene tantos campos como Masas de agua se hayan definido en el archivo de datos. Cada campo recoge el nombre de la masa de agua.

- Los siguientes registros, tantos como percentiles definidos en el archivo de coeficientes, representan los valores de superación de hábitat de cada percentil definido para las series de Hábitat acumuladas por etapas y posteriormente por especies.

- A continuación aparecerá la etiqueta: <Acumulacion_por_etapas_y_masas>.

- El segundo registro contiene tantos campos como especies se hayan definido en el archivo. Cada campo recoge el nombre de la especie.

- Los siguientes registros, tantos como percentiles definidos en el archivo de coeficientes, representan los valores de superación de hábitat de cada percentil definido para las series de Hábitat acumuladas por etapas y posteriormente por masas de agua.

4. Comprobación y validación mediante la aplicación de un caso de aplicación

4.1. Descripción general de la cuenca del Duero

4.1.1. Marco administrativo y ámbito territorial

El río Duero nace en los Picos de Urbión, Sistema Ibérico, en Duruelo de la Sierra, municipio de la provincia de Soria. Antes de dejar España transcurre a lo largo de 744 km (112 km de ellos fronterizos con Portugal) por las provincias de Soria, Burgos, Valladolid, Zamora y Salamanca. Su curso en Portugal recorre 213 km, y finalmente desemboca en el Océano Atlántico en la ciudad de Oporto.

La cuenca del río Duero tiene una extensión de 97.290 km², de los que 78.952 km² corresponden a territorio español y 18.238 km² a Portugal. Es una cuenca transfronteriza, y su parte española es intercomunitaria.

El carácter internacional de la demarcación requiere acuerdos entre los Estados Español y Portugués, que quedan plasmados en el Tratado de Albufeira, 1998. Tal y como se recoge en el artículo 2 de este tratado, su objetivo es *“definir el marco de cooperación entre las Partes para la protección de las aguas superficiales y subterráneas y de los ecosistemas acuáticos y terrestres directamente dependientes de ellos y para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos”*.

La base territorial de la administración del agua en España se articula en las cuencas intercomunitarias mediante Organismos de cuenca, dependientes del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Por tanto, España a través de la Confederación Hidrográfica del Duero, es responsable en particular de la parte española de la demarcación hidrográfica² del Duero y participa en los grupos de trabajo hispano-portugueses de la Comisión para la Aplicación y Desarrollo del Convenio de Albufeira.

El Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero fija el ámbito territorial de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero (artículo 3.3), que comprende el territorio español de la cuenca hidrográfica del río Duero.

² La incorporación a la normativa estatal de la Directiva Marco del Agua requiere la ampliación del concepto de cuenca hidrográfica al de demarcación hidrográfica, que incluye las aguas costeras y de transición.



Figura 6. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Fuente: PHD.

La parte española de la demarcación limita, por el noroeste con la demarcación del Miño-Sil, por el norte con la del Cantábrico, al noreste y este con la del Ebro, y al sur con la demarcación del Tajo; hacia el oeste la cuenca continúa en Portugal. En España la cuenca se extiende parcialmente por el territorio de ocho comunidades autónomas, aunque debe tenerse presente que algo más del 98% de su territorio pertenece a Castilla y León.

DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES DE LA CUENCA DEL DUERO					
CC.AA.	PROVINCIA	Superficie total (km ²)	Superficie de la cuenca (km ²)	Porcentaje en la cuenca (%)	Porcentaje de la cuenca (%)
CASTILLA Y LEÓN	Valladolid	8202	8202	100	10.39
	Palencia	8029	7995	99.59	10.13
	Segovia	6949	6868	98.83	8.7
	Zamora	10559	10354	98.06	13.11
	Salamanca	12236	11044	89.53	13.98
	León	15468	11589	74.92	14.68
	Soria	10287	7452	72.44	9.44
	Ávila	8048	5386	66.94	6.82
	Burgos	14269	8736	61.22	11.07
Total CASTILLA Y LEÓN	-	94047	77626	82.45	98.32

GALICIA	Orense	7287	1126	15.45	1.43
CANTABRIA	Cantabria	5289	88	1.66	0.11
LA RIOJA	La Rioja	5034	19	0.38	0.02
CASTILLA LA MANCHA	Guadalajara	12190	45	0.37	0.06
EXTREMADURA	Cáceres	19945	35	0.18	0.04
MADRID	Madrid	7995	13	0.16	0.02
TOTAL EN ESPAÑA		504645	78952	15.65	100
TOTAL EN PORTUGAL		92391	18338	19.85	
TOTAL INTERNACIONAL			97290		

Tabla 1. Distribución de superficies en la cuenca del Duero. Fuente: www.chd.es

El ámbito territorial descrito se ha dividido funcionalmente en doce sistemas de explotación, que comenzando por el noroeste y recorriendo la cuenca en el sentido de giro de las agujas del reloj, se denominan: 1) Tera, 2) Órbigo, 3) Esla-Valderaduey, 4) Carrión, 5) Pisuerga, 6) Arlanza, 7) Alto Duero, 8) Rianza, 9) Adaja-Cega, 10) Tormes, 11) Águeda y 12) Bajo Duero.

La figura 2 muestra la posición geográfica de los citados sistemas de explotación. La tabla 2 recoge resumidamente las principales características de los mismos.



Figura 7. Sistemas de explotación en la parte española de la demarcación del Duero. Fuente: EPTI_PHD

Número	Nombre	Superficie (km ²)	Aportación natural total (hm ³ /año)	Demanda actual (hm ³ /año)	Consumo actual (hm ³ /año)	Capacidad embalses (hm ³)
1	Tera	5055	2099	148	76	480
2	Órbigo	5005	1500	884	425	339
3	Esla-Valderaduey	9361	2628	690	446	2185
4	Carrión	4928	582	547	217	169
5	Pisuerga	7057	922	409	228	325
6	Arlanza	5342	890	109	69	97
7	Alto Duero	8888	1118	228	120	259
8	Riaza	4036	338	153	92	79
9	Adaja-Cega	7881	657	176	129	83
10	Tormes	7588	1369	364	277	3092
11	Águeda	6196	1119	59	28	132
12	Bajo Duero	7521	284	588	395	632 (*)
	Total:	78858	13506	4355	2502	7240

Tabla 2. Características de los sistemas de explotación. Fuente: EPTI_PHD. (*) Incluye los embalses del tramo internacional explotados por Portugal

4.1.2. Marco físico

Los principales rasgos geológicos, hidrográficos y climáticos definen el marco físico de la parte española de la demarcación.

Geología y relieve

La cuenca hidrográfica del Duero está constituida por una unidad geológica bien definida, la Depresión del Duero, y por los bordes de la misma. La coincidencia con la submeseta norte es prácticamente total, y también lo es la coincidencia entre los límites de ésta con las unidades estructurales que la rodean: las Cordilleras Cantábrica, Ibérica y Central y los Montes Galaico-Leoneses.

La depresión del Duero se configura como una cubeta de sedimentos terciarios y cuaternarios, lacustre y continental. Desde un punto de vista geológico, en la cuenca española del Duero

cabe diferenciar tres tipos de dominios: 1.-Macizo Ibérico y Sistema Central, 2.-Cadenas alpinas y 3.-Cuenca sedimentaria postorogénica. El primer ámbito (Macizo Ibérico y Sistema Central) ofrece las rocas más antiguas, son de naturaleza magmática y metamórfica, en general de baja permeabilidad, se localizan en la zona occidental y meridional de la parte española de la demarcación. Las cadenas alpinas relacionadas con la cuenca del Duero son dos, la zona occidental pirenaica (Cadena Cantábrica) y la Cadena Ibérica, en ellas predominan las rocas carbonatadas y margoevaporíticas, con permeabilidades muy diferenciadas, pudiendo albergar acuíferos de interés. Por último, la gran cuenca postorogénica sedimentaria del Duero, que cubre una extensión aproximada de 55.000 km², y que se ha ido rellenando con depósitos preferentemente terrígenos con gradación positiva, procedentes del desmantelamiento de las cadenas periféricas, es la que alberga los mayores acuíferos de la demarcación.

Desde el punto de vista orográfico es una depresión llana y elevada, bordeada por los sistemas montañosos que la encierran. Prácticamente la totalidad de la cuenca se encuentra por encima de los 700 m de altitud (solamente el 1,9 % de su superficie está por debajo de esta cota), estando el 66 % entre los 600 y los 1.000 m, el 31 % entre los 1.000 y los 2.000 m y solamente el 1,1 % por encima de los 2.000 m.

La parte central está formada por un relieve de llanuras escalonadas, la inferior a unos 700 m y la superior a unos 1.000 m.

La cuenca está rodeada por una orla montañosa bien delimitada y definida: por el noroeste las montañas Galaico-Leonesas; por el norte la Cordillera Cantábrica, con cumbres que sobrepasan los 2.000 m, como la de Peña Prieta (2.535 m). Entre la Cordillera Cantábrica y el Sistema Ibérico se encuentra la comarca de La Lora. Se trata de un relieve accidentado con altitudes más modestas (Peña Amaya, 1.377 m) que las anteriormente señaladas. El Sistema Ibérico está presente en la cuenca cerrando la zona Noreste, desde Burgos a Soria y hasta el macizo del Moncayo (2.316 m); después hacia el sur de la cuenca, la Cordillera Ibérica se extiende por las parameras de Soria. Más al oeste comienza a apuntar el Sistema Central, con su cota máxima en el Pico del Moro Almanzor de 2.592 m, que constituye la mayor elevación de la cuenca. En la Sierra de Ayllón toma la divisoria en dirección Suroeste hasta la Sierra de Gredos, en el Sistema Central, por donde la cuenca se prolonga posteriormente hacia el Oeste y se cierra en Portugal con la Sierra del Tremedal, el corredor de Béjar y la Sierra de Gata (Peña de Francia 1.729 m). Sobre la frontera con Portugal el río Duero excava el espectacular cañón de los Arribes sobre las rocas graníticas del macizo Ibérico. Allí el río discurre cayendo desde la cota 564 (embalse de Castro, Zamora) a la 125 en la confluencia del río Águeda con el Duero.

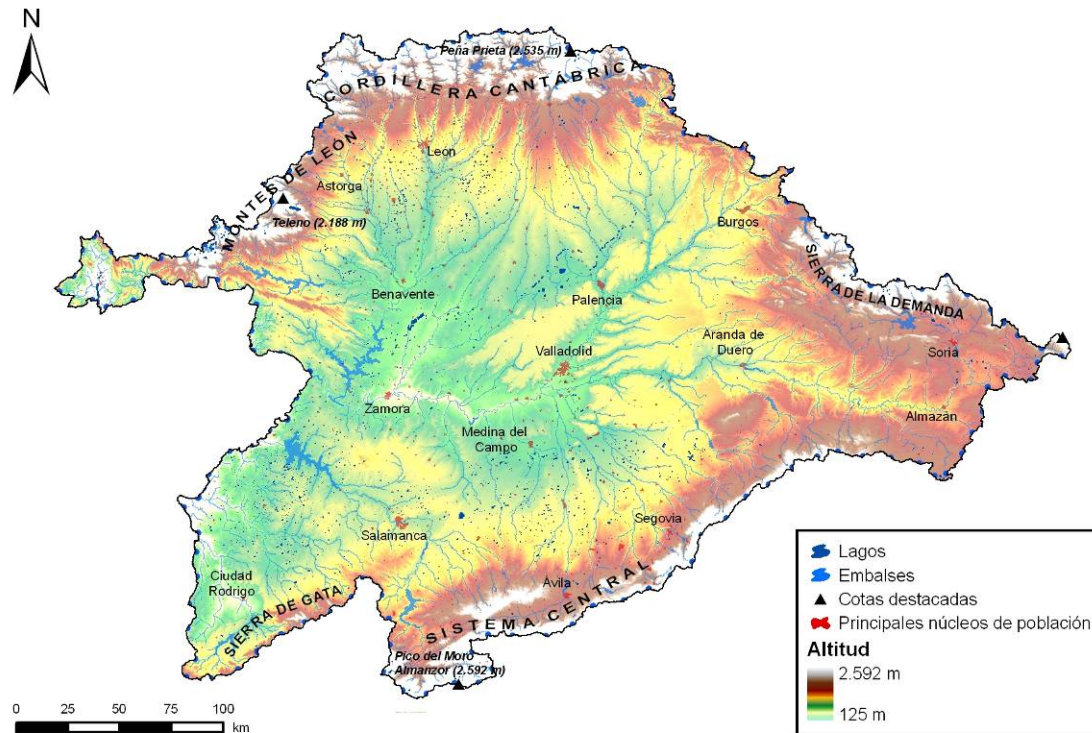


Figura 8. Mapa físico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Fuente: PHD

Red fluvial

La red fluvial de la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero cuenta con más de 83000 km de cauce, entre los que destacan los 744 km del cauce principal del Duero en España, de los que 112 son frontera con Portugal, y los 275 km del Esla, cuya aportación en la confluencia con el Duero supera a éste.

La margen derecha o septentrional del Duero consta de dos grandes subredes tributarias, la del Pisuerga que incluye al Carrión y al Arlanza con el Arlanzón, y la del Esla que se despliega en abanico para incluir a ríos como el Tera, Órbigo, Porma y Cea. La margen izquierda o meridional incluye ríos de menor entidad que bajan desde el Sistema Central al Duero, como son Riaza, Duratón, Cega, Adaja con Eresma, y otros menores (Zapardiel, Trabancos, Guareña...). Por último, al tramo internacional entregan directamente sus aguas los sistemas del Tormes, Huebra y Águeda.

El tramo inicial del Duero, de 73 km, recorre los escarpados valles de la Cordillera Ibérica. La pendiente media de este tramo de cabecera, desde las Fuentes del Duero hasta la ciudad de Soria, es de 14,8 m/km. Desde Soria hasta la frontera portuguesa recorre los suelos blandos formados por los sedimentos terciarios a lo largo de 499 km, con una pendiente media de 1,0 m/km. El tramo internacional, que hace frontera hasta la confluencia con el río Águeda, recorre los cañones de los Arribes. La pendiente media en este tramo fronterizo de 112 km es de 3,7 m/km. Desde la confluencia con el río Águeda hasta la desembocadura en el Océano Atlántico en Oporto, el Duero recorre 213 km, con una pendiente media de 0,6 m/km.

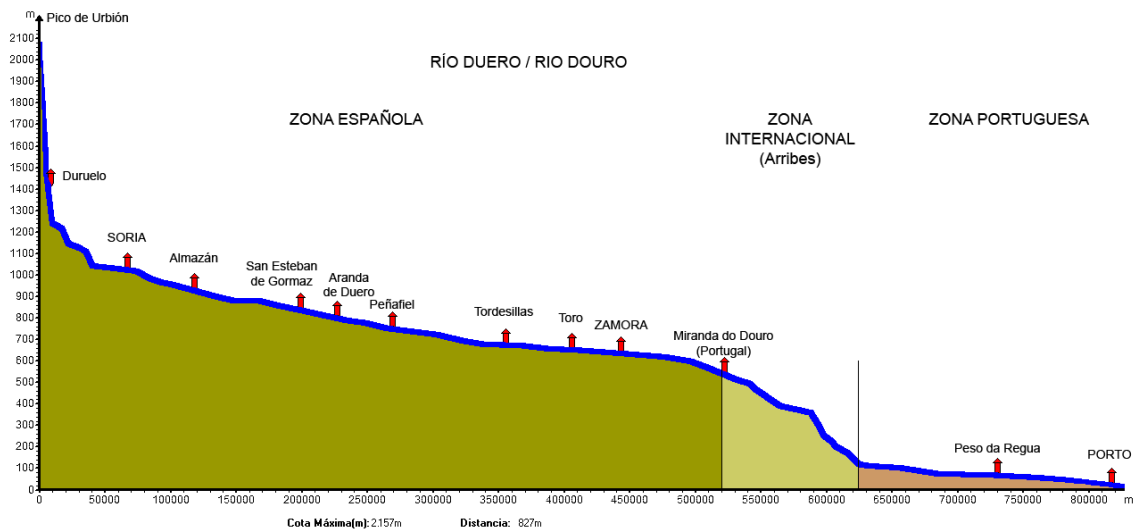


Figura 9. Perfil del Duero. Fuente: wikipedia

En la siguiente tabla se muestran algunas de las características de los ríos principales de la red fluvial de la parte española de la demarcación:

RÍO	LONGITUD (km)	CUENCA (km ²)	NACIMIENTO	DESEMBOCADURA	Aportación media en régimen natural (hm ³ /año)	Aportación específica en régimen natural (m ³ /m ² /año)
DUERO	957: 744 España 213 Portugal	97290	Fuentes del Duero. Picos de Urbión (Soria)	Oporto (Portugal)	21500: 13500 (62.8%) España 8000 (37.2%) Portugal	0.22
ADAJA	176	5320	Fuente Berroqueña. Piedrahita (Ávila)	Margen izquierda del Duero. Villamarciel (Valladolid)	486	0.2
ÁGUEDA	141	2426	Navasfrías (Salamanca)	Margen izquierda del Duero, en la frontera con Portugal.	720	0.31
ARLANZA	172	5229	Quintanar de la Sierra (Burgos)	Margen izquierda del Pisuerga. Torquemada (Palencia)	882	0.17
ARLANZÓN	131	2623	Riocavado de la Sierra (Burgos)	Margen derecha del Arlanza. Palenzuela (Palencia)	347	0.13

RÍO	LONGITUD (km)	CUENCA (km ²)	NACIMIENTO	DESEMBOCADURA	Aportación media en régimen natural (hm ³ /año)	Aportación específica en régimen natural (m ³ /m ² /año)
BERNESGA	83	1157	Puerto de Pajares (León)	Margen derecha del Esla. Vega de Infanzones (León)	692	0.6
CARRIÓN	197	3345	Fuentes Carrionas. Vidrieros (Palencia)	Margen derecha del Pisuerga. San Isidro de Dueñas (Palencia)	517	0.15
CEGA	149	2614	Navafría (Segovia)	Margen izquierda del Duero. Puente Duero (Valladolid)	208	0.08
ERESMA	134	2940	Valsain (Segovia)	Margen derecha río Adaja. Matapozuelos (Valladolid)	277	0.09
ERIA	102	662	Sierra del Teleno. Truchas (León)	Margen derecha del Órbigo. Manganeses de la Polvorosa (Zamora)	205	0.31
ESLA	288	16083	Maraña (León)	Margen derecha del Duero. Villalcampo (Zamora)	5040	0.31
LUNA	77	739	Peñalba del Cilleros (León)	Margen izquierda en el río Omaña (León)	456	0.62
ÓRBIGO	168	5006	Unión de los ríos Luna y Omaña. Secarejo (León)	Margen derecha del Esla. Villanueva de Azoague (Zamora)	1500	0.3
PISUERGA	288	15732	Cuevas del Cobre. Santa M ^a de Redondo (Palencia)	Margen derecha del río Duero. Pesqueruela, Simancas (Valladolid)	2394	0.15
TÁMEGA	51	680	Albergería (T.M. de Prado)	Margen izquierda en el Río Duero. Entre-os-Rios (Portugal)	141	0.22
TERA	140	2424	Sierra de Vigo. Galende (Zamora)	Margen derecha en el río Esla. Bretocino (Zamora)	831	0.34

RÍO	LONGITUD (km)	CUENCA (km ²)	NACIMIENTO	DESEMBOCADURA	Aportación media en régimen natural (hm ³ /año)	Aportación específica en régimen natural (m ³ /m ² /año)
TORMES	149	7115	Navarredonda de Gredos (Ávila)	Margen izquierda en el río Duero. Límite provincial entre Salamanca y Zamora	1.229	0.18

Tabla 3. Principales ríos de la parte española de la cuenca del Duero. Fuente: www.chd.es

La figura 5 facilita la localización de los principales cursos fluviales de la demarcación.



Figura 10. Localización de los principales ríos de la parte española de la cuenca del Duero

Acuíferos

En la parte española de la cuenca del Duero se identifican 64 acuíferos, 63 en un nivel superior y el acuífero detrítico subyacente de la región central del Duero. La distribución territorial de estas masas de agua subterránea se muestra en la siguiente figura.

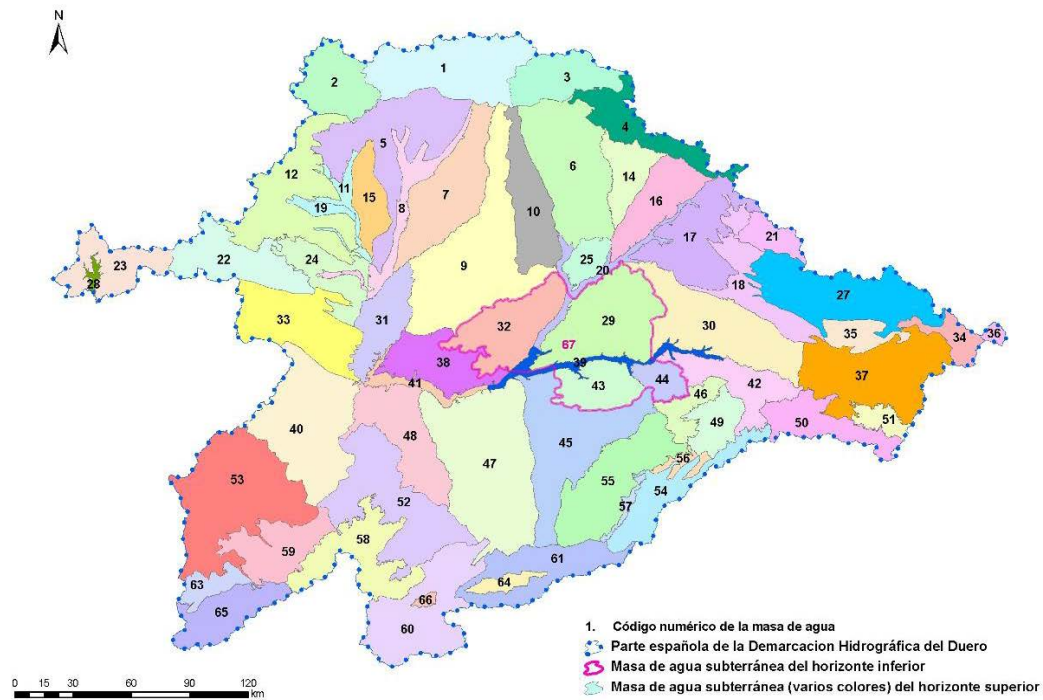


Figura 11. Acuíferos en la parte española de la cuenca del Duero. Fuente: EPTI_PHD

4.1.3. Marco climático

Sobre ese territorio se desarrolla un clima predominantemente mediterráneo, continentalizado a causa del aislamiento que le provocan las cadenas periféricas. Solamente se suaviza en la parte más occidental, en la región de los Arribes, por la influencia del Atlántico y la disminución de altura topográfica.

La precipitación media anual en la parte española de la demarcación es de 618 mm, registrándose los valores más elevados en las cresterías montañosas que bordean la cuenca; así por ejemplo se encuentran valores por encima de los 1.800 mm en el alto Tera o superiores a 1.500 mm en la montaña de León. En el Sistema Central y en la Cadena Ibérica las precipitaciones son menores, no sobrepasando normalmente los 1.000 mm/año. Los valores más bajos, cercanos a los 400 mm/año, se dan en el bajo Duero, entre Salamanca, Zamora y Valladolid. Esta variabilidad espacial de la precipitación se muestra en la figura 7.

Respecto a la variabilidad temporal, las precipitaciones tienen lugar sobre todo entre otoño y primavera mientras que durante el período estival prácticamente son inexistentes. Anualmente también existe una marcada oscilación pluviométrica con valores entre 350 y 800 mm de media de un año a otro.

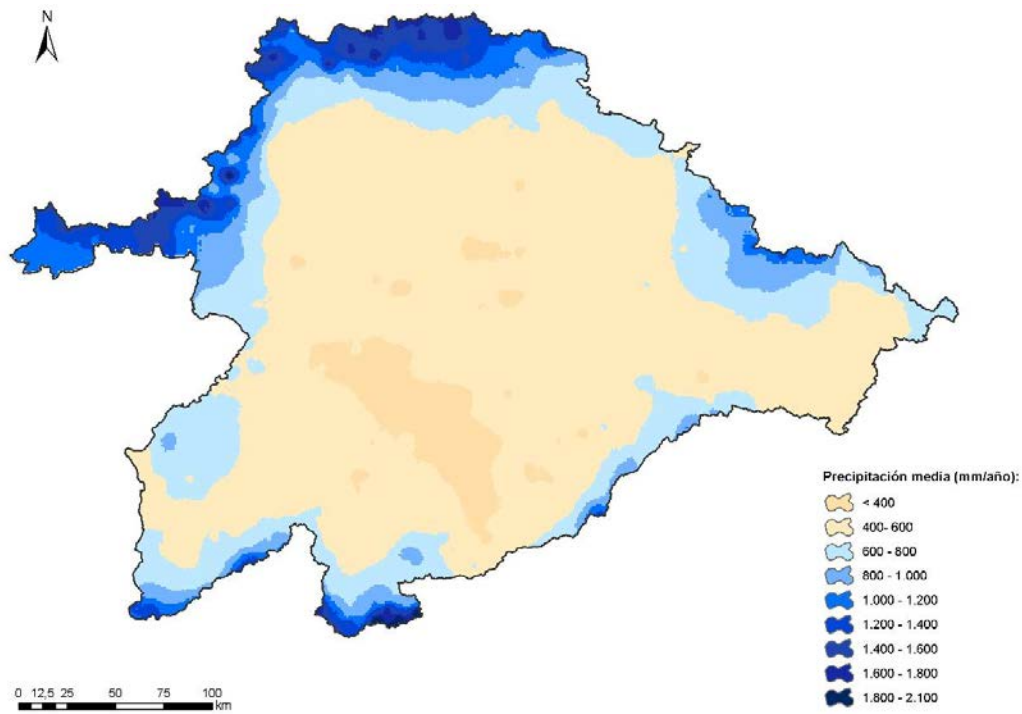


Figura 12. Distribución de la precipitación media anual en la cuenca española del Duero. Fuente: PHD

Las temperaturas medias se muestran en la figura 8. Los inviernos castellanos son largos, fríos y con olas de frío ocasionales causadas por masas de aire polar (valores de hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), especialmente en las parameras leonesas (temperatura media de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en enero), en las montañas del norte y noreste de la cuenca, y en la sierra de Ávila. Los veranos son cortos y suaves, en particular en la zona norte de la demarcación, con $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura media y sin sobrepasar los $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ de media de temperatura máxima.

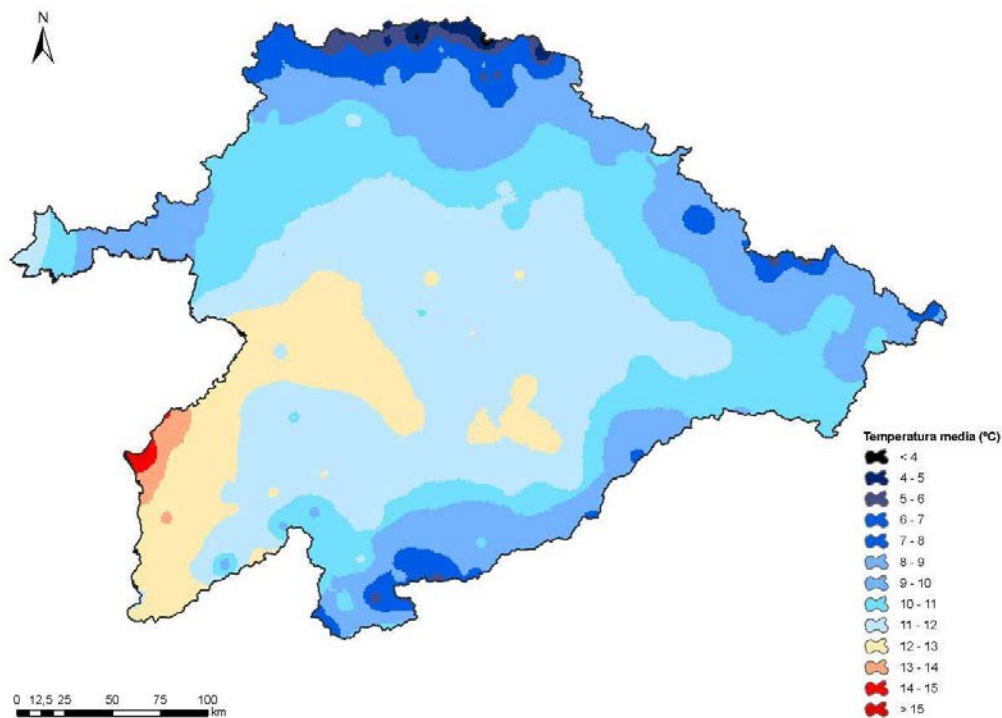


Figura 13. Isotermas medias en la cuenca española del Duero. Fuente: PHD

4.1.4. Marco biótico

Flora

En la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero, aparecen las series de vegetación que se indican en el mapa de la figura 9. En él cabe destacar, por su relación con el medio hídrico, cinco series de bosque ribereño.

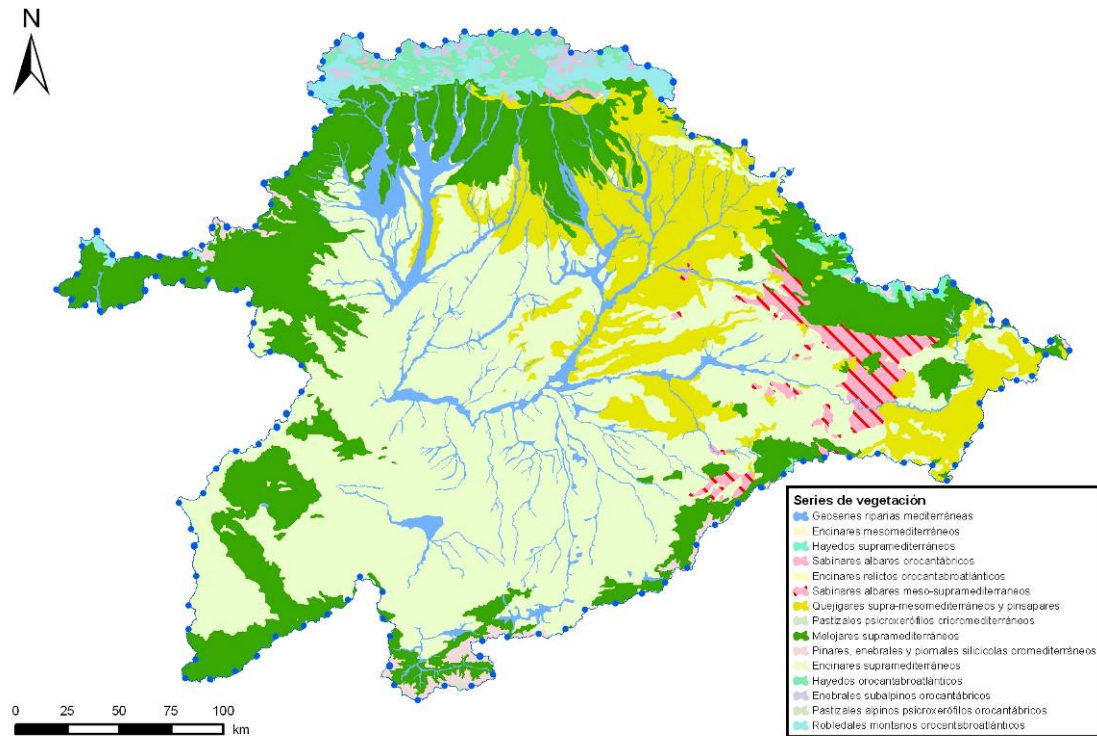


Figura 14. Series de vegetación en la cuenca española del Duero. Fuente: PHD

La importancia de la vegetación de ribera es de sobra conocida y radica en sus principales funciones. La vegetación de ribera estabiliza los márgenes y las orillas, dando cohesión y resistencia a la erosión del suelo a través de su sistema radical, controla la influencia de la cuenca sobre el cauce, reteniendo parte de la escorrentía, sedimentos y nutrientes y con ello ralentizando el flujo, laminando avenidas y protegiendo de la eutrofización, influye sobre el funcionamiento del sistema fluvial en múltiples aspectos como el sombreado, la aportación de materia orgánica alóctona al flujo, ofreciendo hábitat y refugio tanto a la fauna como a la flora, etc. y posee un elevado interés paisajístico para el hombre.

El régimen de caudales es un elemento clave tanto para los procesos de la dinámica fluvial, como para los ecosistemas fluviales, y por tanto, para la vegetación de ribera. Un buen diseño del régimen de caudales ecológicos aumentará el hábitat potencial útil para las especies, pero también favorecerá indirectamente todos estos aspectos.

Fauna

A continuación se presentan algunas de las especies animales más características de los ecosistemas del Duero. Se citarán elementos del grupo de los invertebrados, de aves, mamíferos, reptiles, anfibios y por supuesto de los peces.

- Invertebrados

Muchas son las especies de invertebrados presentes en los ecosistemas del Duero. Si se tienen en cuenta los microorganismos, se pueden llegar a contabilizar decenas de miles. Por su relevancia como indicadores de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos se citan los cangrejos autóctonos (*Austropotamobius pallipes*), prácticamente desaparecidos y restringidos a enclaves muy concretos de la cuenca, y también varios bivalvos de agua dulce, de entre los que destaca por su interés y alto grado de amenaza la náyade o madreperla de río (*Margaritifera margaritifera*). De momento los muestreos aseguran que el mejillón tigre (*Dreissena polymorpha*) no está presente en la cuenca del Duero.

- Anfibios, reptiles, mamíferos

El inventario de las especies del Duero incluye al menos 18 especies de anfibios, destacándose 2 subespecies endémicas: *Salamandra salamandra almanzoris* y *Bufo bufo gredosicola*, ambas en el Sistema Central; 4 reptiles, dos galápagos (*Clemmys caspica* o leproso y *Emys orbicularis* o europeo) y dos culebras de agua (*Natrix natrix* y *Natrix maura*). En cuanto a mamíferos se señalan cuatro especies, la rata de agua (*Arvicola sapidus*), el desmán de los Pirineos (*Galemys pyrenaicus*), la nutria (*Lutra lutra*) y probablemente también el visón europeo (*Mustela luteola*), del que hay citas aisladas. Entre los mamíferos destaca una especie introducida muy problemática: el visón americano (*Mustela vison*), competidor del europeo.

- Aves

Sin duda es el grupo más numeroso de entre los vertebrados presentes en la cuenca del Duero, y con una gran cantidad de especies diferentes, siendo las que se asientan en los numerosos humedales de la cuenca, las más interesantes para este estudio. Dos de los humedales más importantes del país son el complejo lagunar de la Nava en Palencia (integrado por los humedales de la Nava, Boada y Pedraza) y las lagunas de Villafáfila en Zamora. Tanto por la gran cantidad de ejemplares que pasan el invierno en ellas, alrededor de 60.000 aves, la mayor parte de ellas gansos (*Anser anser*), como por su importancia cualitativa, con citas de anátidas como el ánsar careto grande (*Anser albifrons*), ánsar careto chico (*Anser erythropus*), ánsar piquicorto (*Anser brachyrinchus*), etc. nada frecuentes en el contexto nacional, estos espacios se consideran humedales de interés internacional. Es importante recordar aquí que el embalse de Ricobayo (Zamora) es el único punto de invernada del ánsar campestre (*Anser fabalis*) del país.

Pese a ello, la importancia de los humedales de la cuenca del Duero para las aves no responde a su idoneidad como lugar de invernada, el clima de la zona es frío y están alejados del mar, sino más bien como hábitat reproductor, garzas (*Ardea cinerea*, *A. ralloides*, *Nictycorax nictycorax*), algunos limícolas (*Himantopus himantopus*), aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), y sobre todo como escalas en los pasos migratorios. La existencia de los humedales dispersos aquí y allá los hace especialmente indicados para este fin. Águilas pescadoras (*Pandion halietus*), grullas (*Grus grus*), limícolas diversas y prácticamente todas las anátidas del país han sido citados en los humedales del Duero. El caso más paradigmático que se conoce en los últimos años es el del carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*) en la Nava, una especie de paseriforme considerada como globalmente amenazada y que cuenta en la Nava con uno de los asentamientos durante el paso postnupcial más importantes de Europa.

- Peces

Por su importancia como indicadores biológicos de la calidad del agua y por ser el elemento principal del presente estudio merece la pena detenerse en el grupo de los peces.

Las truchas, en sus diferentes estirpes, tienen un gran valor gastronómico y deportivo, además del valor medioambiental evidente, pero es en el grupo de los ciprínidos donde se encuentran verdaderas joyas en los ríos de la parte española de la cuenca del Duero, del que se podría destacar la sarda, o pardilla salmantina (*Achondrostoma salmantinum*), endemismo ibérico exclusivo de unos pocos ríos la cuenca del Duero. Entre los ciprínidos de la cuenca del Duero hay numerosas especies endémicas, algunas de ellas muy amenazadas, por ocupar los tramos bajos y medios de los ríos que son precisamente los más alterados y fragmentados por la acción humana. La tabla 4 muestra algunas características de las especies autóctonas más relevantes del ámbito del estudio.

Familia	Especie	Nombre común	Carácter en el Duero	Observaciones
Acipenseridae	Acipenser sturio	Esturión		Citas históricas
Anguillidae	Anguilla anguilla	Anguila	Autóctono	Prácticamente desaparecida, ha sido objeto de reintroducciones. Catádruma, no puede criar
Salmonidae	Salmo salar	Salmón		Citas históricas
	Salmo trutta	Trucha común	Autóctono	Existen marcadores genéticos únicos en la cuenca del Duero
Cyprinidae	Barbus bocagei	Barbo común	Endemismo	Común
	Achondrostoma arcasii	Bermejuela	Endemismo	Común. En regresión en el hábitat del lucio
	Pseudochondrostoma duriense	Boga del Duero	Endemismo	Aunque lleva ese nombre, también la hay en la subcuenca del Sil
	Achondrostoma salmantinum	Sarda o pardilla salmantina	Endemismo	Zona suroeste (Águeda, Uces, Camaces, Yeltes, Gavilanes y Huebra)
	Gobio lozanoi	Gobio	Autóctono	Parece que fue introducida en la

				cuenca del Duero
	Phoxinus phoxinus	Piscardo	Introducido	Localmente común
	Squalius alburnoides	Calandino	Endemismo	Localmente común
	Squalius carolitertii	Bordallo	Endemismo	Común. En regresión en el hábitat del lucio
	Tinca tinca	Tenca	Autóctono	Localmente común
Cobitidae	Cobitis calderoni	Lamprehuela	Endemismo	Común. Vulnerable
	Cobitis vettonica	Colmilleja del Alagón	Endemismo	Muy localizada en el Águeda. En declive
	Cobitis paludica	Colmilleja	Endemismo	Afluentes de la margen izquierda
Balitoridae	Barbatula quignardi	Lobo de río	Introducido	Introducida en el Órbigo, en expansión

Tabla 4. Síntesis de la ictiofauna autóctona ibérica en la cuenca española del Duero. Fuente: PHD.

En los últimos tiempos, se están llevando a cabo introducciones de especies alóctonas o exóticas que están dando muchos problemas, pues compiten o acaban con otras autóctonas, no sólo de peces sino también de anfibios, modificando drásticamente las comunidades acuáticas. Entre las peores, de presencia constatada, están el lucio, la perca-sol y el lucio-perca.

La tendencia actual es usar, como criterio de diseño de los regímenes de caudales ecológicos, el mantenimiento o incremento del hábitat potencial útil de las especies piscícolas presentes en los ríos. Como se comenta anteriormente, la aplicación de este criterio, repercute en otros elementos de los ecosistemas y dinámica fluvial. En este estudio, como en la normativa estatal, se adopta este criterio. Las especies objeto del presente estudio son el Barbo, la Trucha, la Boga del Duero, la Bermejuela, el Bordallo, la Boga común y la Anguila. Las imágenes que detallan la extensión de la especie proceden de <http://www.viviopesca.net>.

Barbo (barbus bocagei)



Fuente: <http://www.fishing-in-wales.com>

Cíprnido endémico de la península ibérica, de hasta 10 kg de peso y 1m de longitud. Frecuenta ríos de corriente lenta, aunque en épocas de freza puede aparecer en zonas de mucha corriente. Alimentación dentritívora y bentónica, consumiendo preferentemente larvas de insectos. Aunque es muy abundante, su población está en regresión.

Trucha (salmo trutta)



Fuente: Fauna de Gredos

Salmónido de talla media, hasta 70 cm y 10 kg en España, que generalmente presenta manchas negras y rojas oceladas, dorso pardo verdoso y flancos blanquecinos, aunque su coloración es variable. Como salmónido requiere aguas claras, frías y bien oxigenadas, con fondos pedregosos, situándose en las entradas de las pozas, en los tramos altos de los ríos. Se alimentan de casi cualquier clase de materia animal fresca, como peces pequeños, crustáceos y larvas de insectos.

Boga del Duero (chondrostoma duriense)



Fuente: <http://www.malhatlantica.pt/>

Endemismo de talla media que no suele alcanzar los 500 mm de longitud total. Cuerpo alargado más que otras especies de ciprínidos. Vive en los tramos medios de los ríos, en zonas de marcada corriente, pero también prolifera en las aguas de los embalses. Se alimentan de vegetación y en menor proporción de pequeños invertebrados y detritos. La diferencia fundamental con la boga de río es que su cuerpo suele estar pigmentado con pequeñas manchas negras, muy marcadas en las poblaciones de los ríos de Galicia y Portugal. Población en declive, por introducción de especies exóticas más competitivas y por disminución del hábitat.

Bermejuela (Chondrostoma arcasii)



Fuente: <http://www.ittiofauna.org/>

Pequeño ciprínido que vive en lagos y ríos de montaña, frecuentemente asociada con la trucha. Alimentación oportunista, basada principalmente en invertebrados acuáticos, aunque ocasionalmente también es detritívora. Endémica de la península ibérica, con poblaciones localmente abundantes pero en regresión.

Bordallo (squalius carolitertii)



Fuente: <http://zvejys.vakarai.lt/sapalas.htm>

Ciprínido de tamaño medio, de hasta 25 cm y 350 g. Vive tanto en zonas de alta montaña como en tramos medios. Se alimenta de artrópodos y alevines de otros peces. Población en declive por la introducción de especies exóticas y por la pérdida de calidad de su hábitat. También es una especie endémica de la península ibérica.

Boga de río (chondrostoma polylepis)



Autor: F. Martínez Capel

Como la boga del Duero, no suele alcanzar los 50 cm, tiene el cuerpo alargado y se alimenta de vegetación, invertebrados y detritos. Es también endémica de la península ibérica, pero su extensión es mucho más amplia que la boga del Duero.

Anguila (Anguilla anguilla)



Fuente: <http://digilander.iol.it/nord2000>

Cuerpo alargado y cilíndrico y de piel recubierta de mucosa. Coloración variable, de dorso oscuro y zona ventral blanquecina. Según se acerca la fase madura, adopta tonos plateados. Especie catádroma, los individuos que se hallan en agua dulce tienen una alimentación omnívora o carroñera. No es raro, en las poblaciones que viven en los ríos, la existencia de un componente sedentario que puede experimentar hipertrofia, llegando a alcanzar medidas considerables (1.5 m, 6kg) y elevadas edades (85 años). Población en regresión, por introducción de especies exóticas y por la construcción de presas, que no permiten la migración natural a aguas saladas para su reproducción.

4.1.5. Marco socioeconómico y usos del suelo

La cuenca del Duero ofrece una notable debilidad socioeconómica en comparación con el resto del territorio español. Cubre un territorio del 15% de España, pero la población es tan solo del 4.8% del total nacional, y la contribución al PIB del 4,7%.

Por sectores, el más importante es el sector servicios (61.6% del VAB), el cual emplea al 60% de los trabajadores y ofrece una productividad media de 41.485€/trabajador/año. Este sector crece al 50% en los últimos años. El sector de la construcción ha crecido mucho más, hasta un 110%, alcanzando valores del 12.5% del VAB, 13% de los empleados y productividad aparente de 40.024 €/trabajador/año. Esta tendencia se ha frenado bruscamente. La industria también creció en el periodo 2000-2006, pero sin conllevar un aumento proporcional de los puestos de empleo. Su productividad, 43.245 €/trabajador/año, y emplea el 8,3% de los trabajadores. Los sectores que menos han crecido son los de la energía, que emplea el 8.6% de los trabajadores, y el sector agropecuario, 10.1%. La productividad del sector energético es la más alta, 130.555 €/año por puesto de trabajo, y la de la ganadería y la agricultura la más baja, 27.600 €/año/trabajador.

Se observa un progresivo abandono del sector agropecuario, un desplazamiento hacia sectores más productivos. Esto modifica la distribución de la población, que tiende a concentrarse en las ciudades en detrimento del medio rural, donde quedan los ancianos.

Respecto la evolución de la población para escenarios futuros se prevé un estancamiento de los valores. Se frenará la inmigración, con el consiguiente envejecimiento de la población. No obstante, los sistemas de abastecimiento sí se verán alterados por un cambio en la tipología de las viviendas, con un claro incremento de la vivienda secundaria y un descenso en el número medio de habitantes por vivienda ocupada.

En relación con los usos del suelo se estima que unos 3,5 millones de hectáreas están cubiertas por vegetación natural (44% del territorio), resultado de la interacción entre las formaciones originales y de la incidencia antrópica. Estos 3.5 millones de hectáreas se reparten en 678.000 ha de bosque de frondosas, 525.000 ha de bosque de coníferas, 215.000 ha de bosque mixto, 1.166.000 ha de matorral, 786.000 ha de pastizales y 107.000 de praderas. Los cultivos de secano ocupan 3,7 millones de hectáreas y unas 482.000 hectáreas los de regadío. Por último,

son de destacar las casi 100.000 hectáreas ocupadas en nuestra cuenca por usos del suelo urbanos, industriales y vías de comunicación.

4.1.6. Recursos hídricos y demandas

Recursos hídricos

Para la elaboración del PHD se han desarrollado modelos precipitación- escorrentía SIMPA, que simulan los procesos del ciclo hidrológico y ofrecen información distribuida y agregada de las principales variables hidrológicas. Se aprovecha esta información para el presente estudio.

El recurso hídrico estimado por sistema de explotación es el siguiente:

Sistema de explotación	Área (km ²)	Precipitación (hm ³ /año)	Precipitación (mm/año)	Aportación (hm ³ /año)
Tera	5049.00	4892.32	968.97	2210.41
Órbigo	5018.96	4097.45	816.39	1501.42
Esla-Valderaduey	9377.70	7062.39	753.10	2546.89
Carrión	4885.67	2577.22	527.51	494.24
Pisuerga	7092.35	4106.07	578.94	912.60
Arlanza	5318.79	3356.37	631.04	828.12
Alto Duero	8907.64	5267.79	591.38	1159.72
Riaza	4064.01	2167.02	533.22	341.00
Adaja-Cega	7835.07	3895.20	497.15	650.28
Bajo Duero	7568.98	3093.34	408.69	290.38
Tormes	7590.55	4665.37	614.63	1381.20
Águeda	6199.63	4112.52	663.35	1108.03
Total	78908.35	49293.07	624.69	13424.29

Tabla 5. Precipitaciones y aportaciones por sistema de explotación. Fuente: Estudio General de la Demarcación Hidrográfica del Duero 2007.

Para el aprovechamiento de estos recursos hídricos totales hay construidas en la demarcación un total de 74 presas, incluyendo el tramo internacional, que ofrecen una capacidad de embalse total ligeramente superior a 8000 hm³, así como 97 canales, con una longitud conjunta de unos 2.200 km. Éstos se concentran principalmente en la parte norte de la cuenca.

Usos y demandas

A continuación se describe la situación actual y la evolución esperada de los usos del agua en la parte española de la cuenca del Duero. Se presenta un balance en relación a los recursos disponibles.

Se consideran como usos del agua las distintas clases de utilización del recurso y las actividades que repercutan significativamente en el estado de las aguas. Estos usos incluyen el abastecimiento de poblaciones, los regadíos y usos agrarios, los usos industriales para producción de energía eléctrica, otros usos industriales, la acuicultura, los usos recreativos, la navegación y el transporte acuático. Se considera también la actividad minera extractiva por sus posibles efectos sobre el estado de las aguas.

Abastecimiento de poblaciones

La demanda urbana oscila en torno a los 280 hm³ anuales, un 6,4% del total de la demanda consuntiva en el Duero español. De esta demanda, se estima un retorno al medio hídrico, como recurso disponible para otros usos, de 224 hm³.

Las principales unidades de demanda urbana (UDU) abastecidas son Valladolid (338.645 habitantes), Salamanca (191.757 hab), Burgos (179.725 hab), León (143.630 hab), Palencia (86.440 hab), Zamora (65.994 hab), Segovia (55.513 hab) y Ávila (52.767 hab). El resto son inferiores a 50.000, superando los 20.000 habitantes abastecidos las UDU de Soria, Íscar, Medina del Campo y Laguna de Duero.

De los 280 hm³ destinados al abastecimiento, unos 85 hm³ son de origen subterráneo y el resto de origen superficial. Tradicionalmente, la mayor parte de los pequeños núcleos de población se abastecían con agua subterránea; sin embargo, la disminución de su calidad en determinadas zonas (arsénico, nitratos) y la implantación alternativa de grandes sistemas mancomunados de abastecimiento con recursos superficiales ha favorecido el cambio de esta situación.

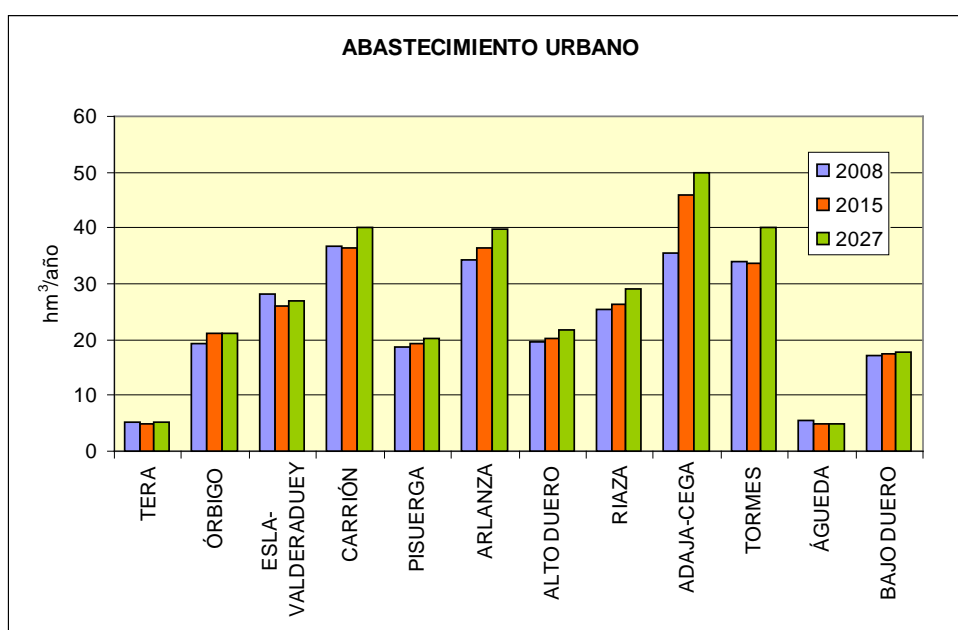


Figura 15. Estimación de la evolución de la demanda urbana en los sistemas de explotación. Fuente: EPTI_PHD

Suministro de demanda agraria

La demanda de agua para regadío y usos agrarios comprende la demanda propiamente agrícola (regadío), junto con la forestal y la requerida para atender la cabaña ganadera no conectada a las redes municipales.

La demanda bruta anual media para uso agrario asciende a unos 3.800 hm³, lo que supone el 92% del total de la demanda. Del citado caudal, algo más del 80% es de procedencia superficial y el resto, casi un 20%, de origen subterráneo. Los retornos que vuelven a la red se han evaluado en 1.172 hm³/año, el 30% de la demanda total para agricultura. Esta demanda agraria está fuertemente regulada, con valores elevados en verano y mucho menores en invierno.

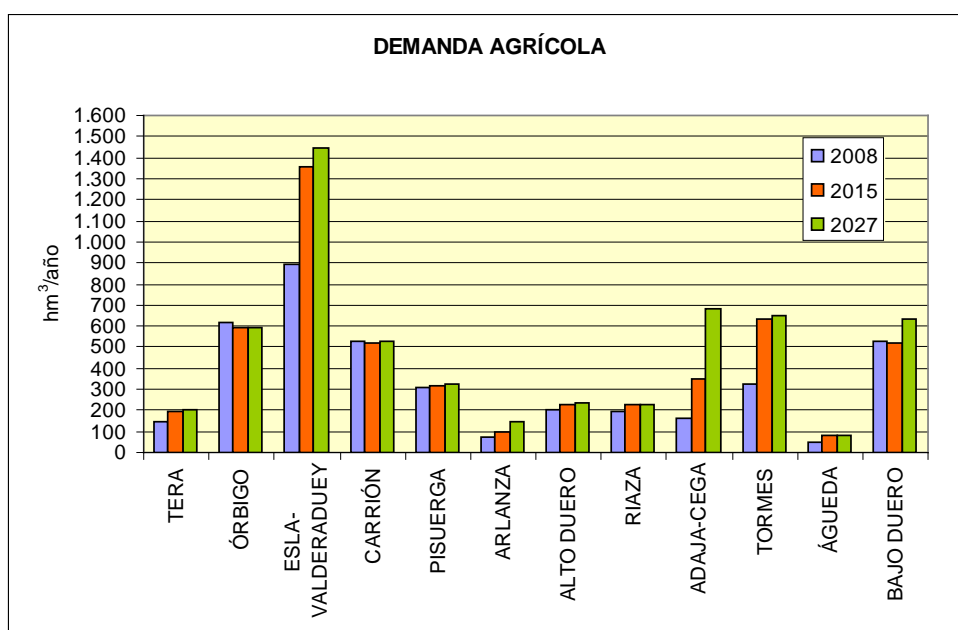


Figura 16. Estimación de la evolución de la demanda agraria en los sistemas de explotación. Fuente: EPTI_PHD

Uso industrial

La demanda consuntiva anual para uso industrial en la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero se estima en unos 45 hm³, el 1% del total de las demandas consuntivas de la cuenca española. Esta demanda se concentra en las ciudades más pobladas y con mayor desarrollo y los municipios de su entorno, destacando especialmente los polos industriales de Valladolid y Burgos y, en menor medida, Aranda de Duero.

En referencia al aprovechamiento hidroeléctrico, existen en la parte española de la cuenca del Duero 167 aprovechamientos en explotación con una potencia concedida de 3.750 MW. No constituyen un uso consuntivo, pero si tienen influencia en el estado de las aguas.

Otros usos

Se agrupan en este apartado aquellos otros usos del agua que no suponen una demanda consuntiva significativa en el ámbito de la Demarcación (acuicultura, golf, y usos recreativos y actividades de baño y ocio). Pese a no ser esencialmente consuntivos y proporcionar un valor económico importante, han de tenerse en consideración por su repercusión sobre el medio y el estado ambiental de los ecosistemas en los que tienen lugar estos usos.

También merecen consideración las pérdidas que se producen en la parte española de la demarcación del Duero por evaporación de embalses. El valor anual medio estimado para nuestro territorio se aproxima a los 250 hm³/año, con la distribución por sistemas de explotación que se muestra en la figura 12.

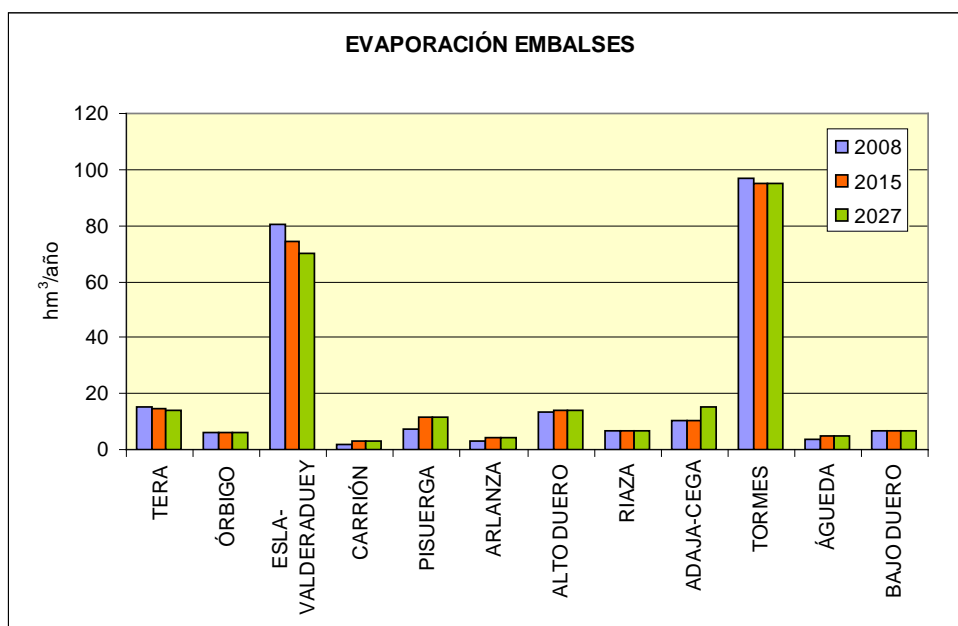


Figura 17. Estimación de las pérdidas por evaporación en los sistemas de explotación. Fuente: EPTI_PHD.

En la parte española de demarcación del Duero existen 21 instalaciones de acuicultura, que suponen una demanda del orden de los 450 hm³/año. Respecto al resto de usos de tipo recreativo cabe destacar el golf. Se identifican 31 campos, que pueden llegar a demandar unos 2,5 hm³/año. Así mismo hay numerosas zonas donde se practica, tanto con carácter comercial como recreativo, la navegación deportiva.

Resumen de usos y demandas

Las demandas consuntivas en la parte española de la demarcación hidrográfica del Duero corresponden en gran medida, al sector agrario. Además, la previsión actual sobre la evolución futura de las mismas es claramente creciente.

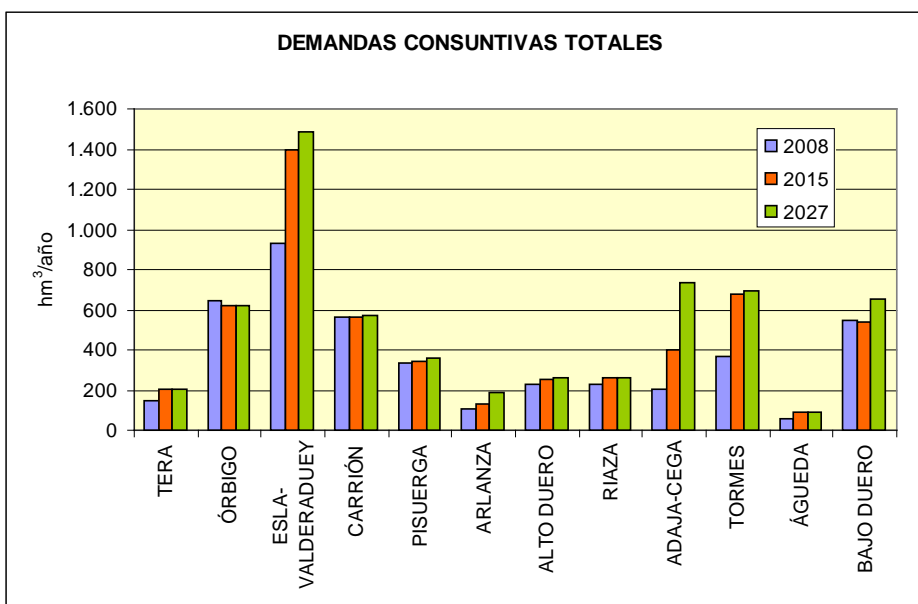


Figura 18. Estimación de la evolución de las demandas consuntivas totales en los sistemas de explotación de la parte española de la demarcación del Duero. Fuente: EPTI_PHD.

Existe un acusado desequilibrio en la demanda a lo largo del año. Prácticamente la mitad de la demanda anual (48,5%) se concentra en los meses de junio y julio, y más de las tres cuartas partes en el periodo comprendido entre mayo y agosto

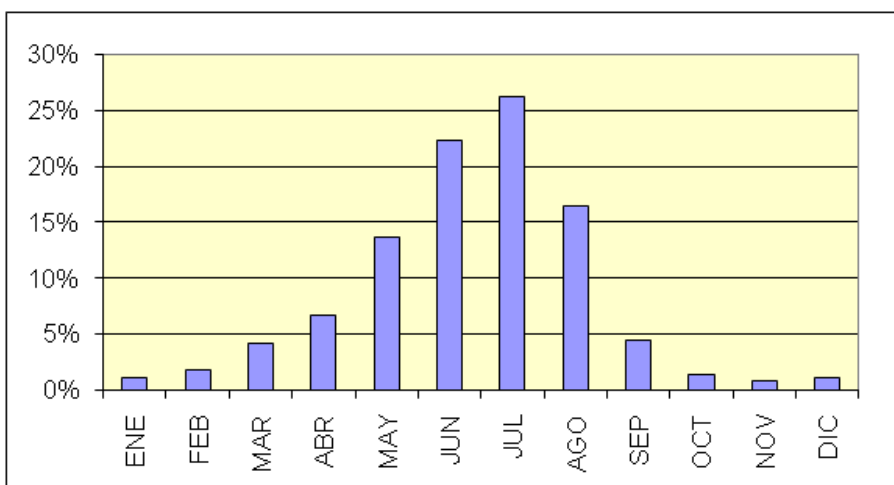


Figura 19.. Estacionalidad de la demanda total Fuente: EPTI_PHD.

Como consecuencia existe una desigual distribución territorial entre los recursos disponibles y las necesidades de agua demandadas para atender los usos, manifestándose problemas de disponibilidad en diversas zonas de la cuenca.

Restricciones a los usos del agua

Existen restricciones geopolíticas derivadas del Convenio de Albufeira y condiciones establecidas por el Plan Hidrológico Nacional para las antiguas unidades hidrogeológicas compartidas que limitan su uso. Asimismo, los caudales ecológicos o demandas ambientales también constituyen restricciones previas a la reserva y asignación de recursos.

4.1.7. Datos disponibles

Para este estudio se ha tenido acceso a parte de la información elaborada en el desarrollo del Plan Hidrológico de la cuenca Duero. Básicamente se ha hecho uso del modelo de simulación del sistema de recursos hídricos empleado en dicho plan, y de las curvas de hábitat potencial útil utilizadas para definir los regímenes ecológicos. A continuación se detallará un poco más el contenido de estos datos, y su procedencia.

Información hidrobiológica

La información hidrobiológica de la que se dispone ha sido elaborada por la empresa Infraeco para la elaboración del Plan Hidrológico de la Cuenca del Duero. Esta información se compone de las siguientes partes:

- Curvas de hábitat potencial útil.
- Factores de variación anual.
- Rangos de validez del caudal ecológico mínimo.
- Bioperiodos.

Las curvas de hábitat potencial útil indican, para un caudal concreto, el valor del hábitat potencial útil en m² del que dispondrían los individuos de una especie piscícola, en un estadio vital concreto (alevín, juvenil, adulto o frezaderos) en un tramo de río.

Las especies y etapas de las que se han elaborado curvas de hábitat potencial, y los tramos para los que se han elaborado estas curvas han sido determinados según los criterios que marca la legislación vigente.

El factor de variación anual indica, una vez fijado el caudal ecológico mínimo de un tramo, como debe de variar éste a lo largo del año. La combinación del caudal mínimo y el factor de variación proporciona el régimen ecológico mínimo. Este factor de variación ha sido elaborado en base al análisis de estadísticos sobre el régimen natural en cada tramo de río, y es distinto en cada uno de ellos.

El rango de validez es, como su nombre indica, el rango de valores entre los que puede variar el caudal ecológico mínimo en cada tramo de río. Se deriva de la aplicación de los criterios establecidos en la normativa vigente para el diseño de los caudales ecológicos, ya que la Instrucción de Planificación Hidrológica fija que el HPU mínimo de la especie crítica de un tramo de río debe variar, en masas de agua poco alteradas, entre el 50 % y el 80% del máximo valor de HPU, y entre el 30% y el 50% en masas de agua muy alteradas.

Los bioperiodos indican en qué meses del año están presentes los distintos estadios vitales de cada especie piscícola. Así por ejemplo, adecuar el hábitat para los frezaderos de la trucha en el mes de Noviembre resulta gratuito, en balde, pues en el mes de Noviembre los frezaderos de las truchas del verano anterior ya se han convertido en juveniles, y los del año que viene aún no han nacido. No hay frezaderos. Esta información se obtiene de la Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos.

4.2. Modelo de simulación del sistema de recursos hídricos

Este es uno de los modelos definitivos fruto del trabajo en colaboración, durante 4 años, de la empresa Eptisa, la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Duero y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica del Valencia, para el desarrollo del Plan Hidrológico de la cuenca del Duero. Además de este modelo SIMGES global, que simula el funcionamiento del sistema de recursos hídricos de toda la cuenca, se desarrollaron otros más detallados de algunos de los subsistemas, con el fin de obtener resultados más finos sobre algunas variables.

Este modelo SIMGES incluye las reglas de gestión con las que se prevé administrar los recursos hídricos del sistema, según el Plan Hidrológico del Duero. Para la simulación de este modelo se dispone de dos series mensuales de aportaciones elaboradas mediante sendos modelos SIMPA precipitación-escorrentía, y mediante la restitución a régimen natural de los caudales en los ríos de la cuenca. Los modelos SIMPA son una herramienta desarrollada por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. La serie larga ofrece los valores mensuales de las aportaciones desde Octubre de 1940 hasta Septiembre del 2006, mientras que la serie corta comprende el periodo de Octubre de 1980 hasta Septiembre de 2006.

4.2.1. Descripción del modelo SIMGES empleado

El modelo de simulación utilizado en el presente estudio es el modelo definitivo de la parte española de la cuenca del Duero, para la elaboración del Plan Hidrológico del Duero. Este modelo es el resultado de 4 años de trabajo de la OPH de la Confederación Hidrológica del Duero y la empresa Eptisa, en colaboración con la UPV.

En el modelo se simulan los elementos más importantes del sistema de recursos hídricos de la cuenca, de manera global, debido a la extensión del ámbito simulado. Se recogen en él las reglas de gestión con las que se opera el citado sistema de recursos hídricos. Ambos aspectos, elementos y relaciones que componen el sistema de recursos y las reglas de gestión para administrar el recurso, se especifican para tres escenarios distintos, el escenario actual, y los escenarios previstos para el 2015 y para el 2027.

Las previsiones para la definición de los elementos en escenarios futuros se realizan en concordancia con la evolución esperada de los factores determinantes (población y vivienda, producción agraria y políticas públicas). El presente estudio se ha desarrollado sobre el escenario 2015.

Para la simulación del modelo se dispone de dos series de aportaciones mensuales, ambas resultantes de modelos SIMPA y de la restitución a régimen natural de los caudales de los ríos del ámbito de aplicación. En el presente estudio se simulará el modelo con la serie corta, que comprende el periodo de Octubre de 1980 a Septiembre de 2006, por motivos del volumen de resultados que se generan para cada simulación y la gran cantidad de simulaciones necesarias.

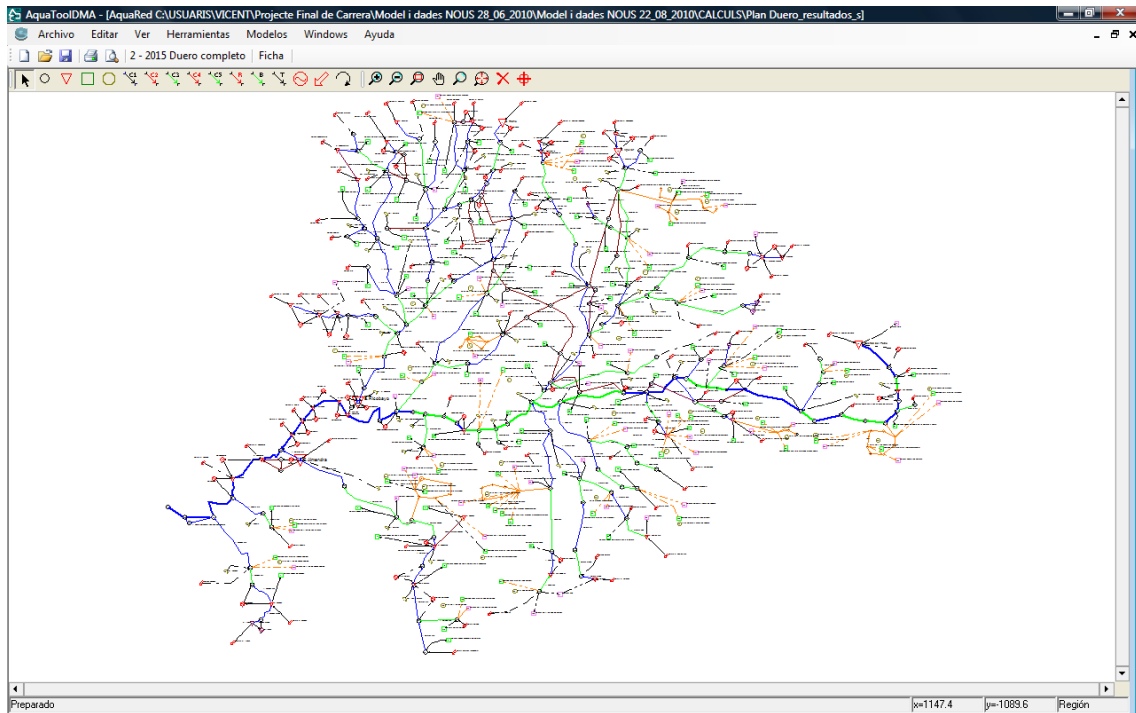


Figura 20. Interfaz gráfica del modelo SIMGES de simulación de la cuenca.

Para una mayor comprensión de la complejidad y extensión del ámbito del estudio y del modelo de simulación resultante comentar, por ejemplo, que la demanda agraria del sistema se ha simulado mediante 75 unidades de demanda agraria, que existen un total de 267 conducciones y de 246 nudos, de los que 40 son embalses. El número de acuíferos es de 39, el de centrales hidroeléctricas 46 y el de aportaciones 85. En la figura 17 se muestra la interfaz completa del modelo.

Modificaciones introducidas en el modelo

El desarrollo de los trabajos obligó a introducir leves modificaciones respecto del modelo original.

En general no se introdujeron nuevos arcos que simularan los tramos de río de simulación del hábitat, pero hubo una excepción. El tramo de Esla en Villalcampo es un tramo de simulación de hábitat, y inicialmente se modelaba con un único arco, de manera que el caudal turbinado en las centrales Ricobayo I y II dejaba de circular por el tramo de simulación de hábitat. Estas centrales retornan el caudal turbinado aguas abajo de la presa del embalse homónimo, circulando este caudal por el tramo de simulación anteriormente citado. Para resolver esta situación se añadió un arco entre el retorno de las centrales Ricobayo I y II y el embalse de Villalcampo.

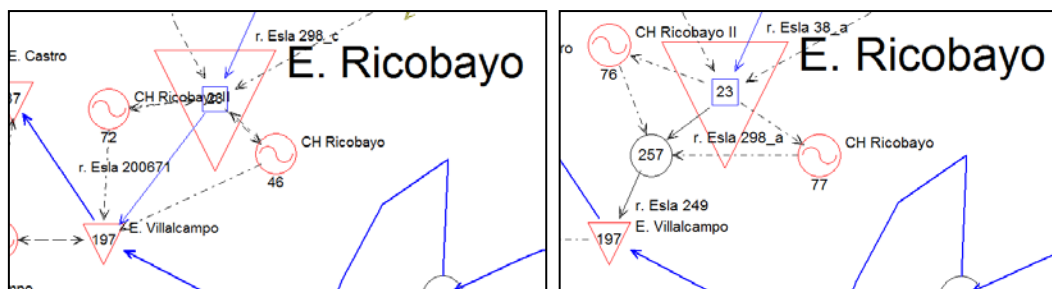


Figura 21. Inclusión del tramo del Esla en Villalcampo en el modelo SIMGES.

El conjunto de modificaciones que se exponen a continuación tienen su origen en la simulación correspondiente al régimen natural efectuada para la comprobación de la validez hidrológica de los regímenes de caudal ecológico que se iban a imponer. Para realizar correctamente esta simulación se tuvieron que anular todas las demandas consuntivas y no consuntivas del sistema, indicando el valor 0 para todas las dotaciones y para los caudales objetivo en las centrales. También se tuvieron que eliminar los canales y las conducciones ficticias complementarias para la correcta simulación del sistema de recursos hídricos, imponiendo como caudal máximo en estas conducciones el valor 0. Finalmente se devolvió a los acuíferos su estado en régimen natural. Como las aguas subterráneas se modelan como comparación con el régimen natural, se fijó el volumen inicial en los acuíferos 0.

La última modificación que se ha introducido en el modelo también tiene que ver con el volumen inicial de los acuíferos. La situación inicial real de los acuíferos era de sobreexplotación en muchos de ellos. Con las reglas de gestión que el modelo incluye, esta sobreexplotación repercute en que en los primeros meses, la incidencia se extiende durante poco más de un año, con lo que los déficits de suministro a las demandas se disparaban. Tras pocos meses la evolución, del volumen en los acuíferos alcanzaba un estado estacionario.

El efecto de esta sobreexplotación inicial en la simulación con la serie corta repercute de manera demasiado notable en los déficits de suministro a demandas medias del periodo. La imposición de los regímenes de caudales ecológicos que en este estudio se diseñan es para periodos medios. Se concluye que la mejor opción para el análisis es imponer un volumen inicial en los acuíferos correspondiente con el estado estacionario que se alcanza tras apenas 14 meses del periodo de simulación. La introducción de esta modificación eliminó la desecación (caudal nulo) de algunos arcos asociados a tramos de río de simulación de hábitat, y devolvió los exagerados valores iniciales de déficits de suministro en algunas unidades de demanda agraria a la normalidad.

4.2.2. Series totales de hábitat

Las series totales de hábitat son series temporales de valores del hábitat potencial útil del que dispondrían en un tramo de río, los individuos de cierta especie piscícola en una determinada etapa del desarrollo vital (alevín, juvenil, adulto o frezadero).

Para determinar las series totales de hábitat son necesarias las series de caudales, que se obtienen de la simulación del modelo SIMGES de la cuenca, y también las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal, que forman parte de la información inicial del presente proyecto. Mediante el programa CAUDECO se combinan estos datos y se generan las series totales de hábitat.

4.2.3. Curvas de hábitat potencial útil

Justificación de la metodología

El método del hábitat potencial útil es un método hidrobiológico para el diseño de los regímenes ecológicos de un tramo de río (Beecher 1985; Bovee, 1982; Aennear y Conder, 1983; Mayo, 2000). El elemento fundamental de este método son las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Conceptualmente estas curvas son el resultado de la combinación de un modelo hidráulico fluvial, y las curvas de preferencia de la fauna.

Esta metodología entiende que las características definitorias del hábitat de las especies piscícolas son la profundidad, la velocidad del flujo, el sustrato y el refugio o cobertura. Las curvas de preferencia de hábitat son funciones que indican, tomando valores entre 0 y 1, la

preferencia que tienen los individuos de una especie piscícola en una etapa de desarrollo concreta, por ciertos valores de estas características definitorias de su hábitat. En la figura 19 se muestran ejemplos de curvas de preferencia de hábitat de velocidad de la corriente, de profundidad y de sustrato. El sustrato es una variable cualitativa, pero sus valores se han codificado en números.

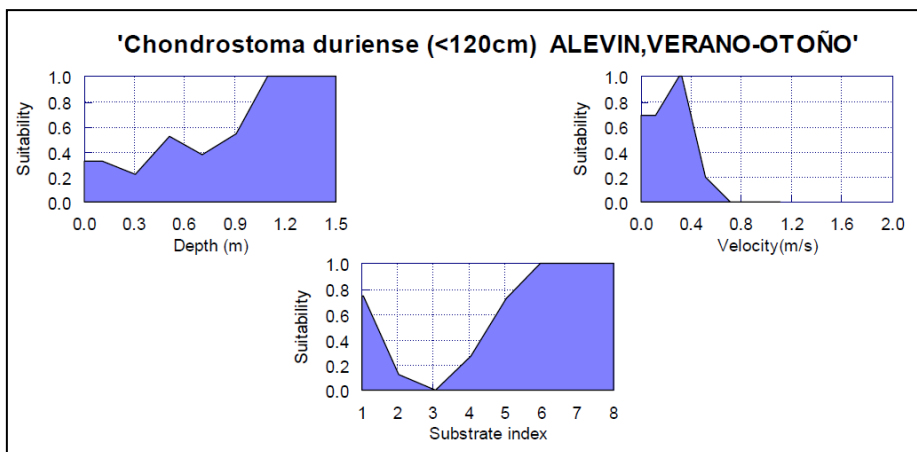


Figura 22. Curvas de preferencia de hábitat. Fuente: Infraeco 2009.

La determinación del HPU en un tramo de río sigue, a grandes rasgos, el siguiente proceso. Primeramente se discretiza el tramo de río en celdas de igual superficie. Tras ello es necesario evaluar la idoneidad de cada celda, según las características definitorias del hábitat, para la especie-etapa objeto del estudio. Así pues, si en una celda de 1 m² de superficie, se presenta una velocidad que supone una idoneidad de 0,8, una profundidad que supone una idoneidad de 1, una cobertura de idoneidad 1 y un sustrato que tiene una idoneidad de 0,5, en esa celda de 1 m² de río hay un HPU de $1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,4$ m².

La utilidad del modelo hidráulico estriba en deducir, para un determinado valor de caudal circulante en el río, la velocidad de la corriente en cada celda y la profundidad.

Ciertamente hay que tomar los resultados de HPU con precaución. Afirmar con rotundidad que en cierto tramo de río el hábitat potencial para una especie piscícola toma un valor concreto de superficie sería una temeridad, pues la elaboración del modelo hidráulico y sobre todo la de las curvas de preferencia de hábitat requiere de simplificaciones conceptuales importantes.

En cambio, esto no significa que el método del HPU no ofrezca buenos resultados. La realidad es que su utilidad para este fin ha sido contrastada en numerosas ocasiones desde que este método viera la luz. El modelo PHABSIM, "Physical Habitat Simulation System" fue elaborado por el Intream Flow Group del Departamento de Pesca y Vida Silvestre de EE.UU. formando parte de la metodología IFIM para el diseño de regímenes ecológicos (Bovee y Milhous, 1978).

Descripción de la información disponible

En el presente estudio se dispone inicialmente de 349 curvas de duración de hábitat, de 7 especies piscícolas diferentes (Barbo, Trucha, Boga del Duero, Bermejuela, Bordallo, Boga Común y Anguila) en diferentes etapas de desarrollo, en 40 tramos de río de la parte española de la cuenca del Duero. Pese a la complejidad del modelo de simulación se requiere de cierta simplificación, y ocho de los tramos de simulación de hábitat no aparecen, por lo que resulta imposible incluirlos en el estudio.

El desarrollo de la metodología se efectúa en 32 tramos de río de la parte española de la cuenca del Duero, resultando un total de 284 curvas de hábitat potencial útil. A continuación se detalla la localización de los tramos, y las especie-etapa para las que se evalúa el HPU en cada uno de ellos.

Tramo	Especie-etapa crítica	Barbo			Trucha			Boga del Duero		Berm ejuela	Bord allo		Boga Común			Ang uila	
		A d	J u v	A l	A d	J u v	A l	F r	A d	A l	Todas	A d	A l	A d	J u v	A l	Tod as
Adaja en Arévalo	barbo adulto	X	X	X					X	X	X						
Águeda en Castillejo Martín Viejo	barbo adulto	X	X	X					X	X	X	X	X				X
Arlanzón en Villasur de Herreros	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Arlanza en Quintana del Puente	barbo adulto	X	X	X							X	X	X				
Carrión en Palencia	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X				
Duero en Aldeadávila	barbo adulto	X	X	X					X	X	X	X	X				
Duero en Peñafiel	barbo adulto	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X				
Duero en Toro	barbo adulto	X	X	X					X	X	X	X	X				
Duero después del río Riaza	barbo alevín	X	X	X					X	X	X						
Duero en Garray	trucha adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Duratón aguas abajo de Las Vencías	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Eresma en Segovia	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X			X						

Tramo	Especie-etapa crítica	Barbo			Trucha			Boga del Duero		Bermejuela	Bordallo		Boga Común			Anguila	
		A d	J u v	A l	A d	J u v	A l	F r	A d	A l	Todas	A d	A l	A d	J u v	A l	Todas
Esgueva en Villanueva de los Infantes	barbo adulto	X	X	X					X	X	X	X	X				
Esla en Villomar	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Esla en Bretó	barbo alevín	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Esla en Villalcampo	barbo adulto	X	X	X					X	X	X						
Guareña en Toro	barbo adulto	X	X	X					X	X	X						
Huebra en Puente Resbala	barbo adulto	X	X	X					X	X		X	X				
Órbigo en Cebrones	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Boga del Duero Alevín	X	X	X					X	X	X	X	X				
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Bermejuela	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Porma en Secos de Porma	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Rituerto en Sauquillo de Boñices	barbo adulto	X	X	X					X	X	X						
Tera en Mozar de Valverde	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Tormes aguas abajo	barbo	X	X	X					X	X	X	X	X				

Tramo	Especie- etapa crítica	Barbo			Trucha			Boga del Duero		Berm ejuela	Bord allo		Boga Común			Ang uila	
		A d	J u v	A l	A d	J u v	A l	F r	A d	A l	Todas	A d	A l	A d	J u v	A l	Tod as
de Almendra	adulto																
Tormes en Contienza	barbo adulto	X	X	X								X	X	X	X	X	
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tuerto antes de Duerna	barbo adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X				
Valderaduey en Santervás de Campos	barbo alevín	X	X	X					X	X	X	X	X				
Voltoya en Coca	barbo adulto	X	X	X					X	X	X						
Zapardiel antes del Duero	barbo adulto	X	X	X													

Tabla 6. Curvas de hábitat potencial útil de cada tramo de simulación.



Figura 23. Localización de tramos de estimación del HPU.

Elegido el valor del caudal ecológico mínimo, la obtención del régimen ecológico mínimo solamente requiere la aplicación de un factor de variación anual, distinto para cada tramo, que se deduce de un análisis estadístico del régimen natural de caudales en cada tramo.

El caudal ecológico mínimo en cada tramo puede variar dentro de un rango de validez resultado de la aplicación de los criterios que la IPH indica (el caudal ecológico mínimo debe asegurar un HPU entre el 50% y el 80% en masas de agua poco alteradas, y entre el 30% y el 50% en masas de agua muy alteradas).

La variabilidad de cada caudal ecológico se ha recogido, en el presente estudio, discretizando cada rango de validez en 10 valores equidistantes. La aplicación del factor de variación correspondiente a cada valor de caudal proporciona el régimen ecológico de simulación. En este estudio se hablará indistintamente de régimen ecológico o de caudal ecológico, entendiendo que la aplicación del factor de variación anual del tramo produce el régimen ecológico. La discretización del rango de validez de cada caudal ecológico permite nombrar a cada caudal ecológico ensayado por el ordinal que ocupa dentro del rango, y no necesariamente por el valor de caudal.

La siguiente tabla especifica el rango de validez para el caudal ecológico mínimo y el factor e variación mensual para conformar el régimen ecológico mínimo, en cada tramo de simulación hidrobiológica.

	Rango de validez (m3/s)		Factor de variación mensual											
	Qinf	Qsup	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Agosto	Sept.
Adaja en Arévalo	0.4	1	1	1	1.04	1.54	1.57	1.59	1.71	1.43	1	1	1	1
Águeda en Castillejo Martín Viejo	1	2	1	1.08	1	1.98	1.75	1.77	2.25	2.05	1.55	1	1	1
Arlanzón en Villasur de Herreros	0.2	1	1	1.61	1.86	1.93	1.97	2.02	2.24	2.21	1.29	1	1	1
Arlanza en Quintana del Puente	2.5	3.5	1	1.27	1.16	1.2	1.41	1.47	1.6	1.67	1.11	1	1	1
Carrión en Palencia	2	4	1	1.25	1.22	1.33	1.22	1.58	1.59	1.52	1.03	1	1	1
Duero en Aldeadávila	60	80	1	1.1	1.14	1.22	1.19	1.41	1.42	1.36	1.06	1	1	1
Duero en Peñafiel	6	9	1	1.11	1.11	1.02	1.14	1.12	1.28	1.35	1.17	1	1	1
Duero en Toro	20	30	1	1.04	1.07	1.12	1.12	1.24	1.36	1.32	1.07	1	1	1
Duero después del río Riaza	5	10	1	1.12	1.14	1.03	1.16	1.15	1.29	1.37	1.19	1	1	1
Duero en Garray	1	2	1	1.13	1.08	1.07	1.19	1.26	1.43	1.49	1.23	1	1	1
Duratón aguas abajo de Las Vencías	0.5	1	1	1.09	1.06	1.18	1.32	1.26	1.28	1.34	1.07	1	1	1
Eresma en Segovia	0.1	0.5	1	1.2	1.51	2.46	2.33	2.42	2.53	2.37	1.35	1	1	1
Esgueva en Villanueva de los Infantes	0.3	0.6	1	1	1.03	1	1.01	1	1.1	1.14	1.16	1	1	1
Esla en Villomar	3.5	7	1.05	1.37	1.57	1.69	1.6	1.81	1.99	1.71	1.15	1.01	1	1.01

Esla en Bretó	30	35	1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.43	1.0	1	1	1
Esla en Villalcampo	25	30	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.5	1.4	1.42	1.0	1	1	1
Guareña en Toro	0.5	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1	1	1	1	1
Huebra en Puente Resbala	0.6	1.2	1	1	1	1.3	1.1	1.1	1.3	1.35	1.3	1	1	1
Órbigo en Cebrones	2.5	10	1	1.0	1.3	1.4	1.4	1.6	1.6	1.46	1	1	1	1
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	8	14	1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.33	1.0	1	1	1
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	2	5	1	1.0	1.0	1	1	1	1	1	1.0	1.0	1.0	1.0
Porma en Secos de Porma	1.5	6	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.5	1.5	1.43	1.0	1	1	1
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	0.1	0.5	1	1	1.2	1.5	1.5	1.4	1.5	1.51	1.1	1	1	1
Rituerto en Sauquillo de Boñices	0.1	0.4	1.0	1.1	1.3	1.0	1.0	1.1	1.2	1.45	1.2	1	1	1
Tera en Mozar de Valverde	3	6	1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.4	1.5	1.38	1.0	1	1	1
Tormes aguas abajo de Almendra	0.5	10	1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.4	1.36	1.1	1	1	1
Tormes en Contienza	4	6	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.4	1.43	1.1	1	1	1
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	2.5	7	1	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.6	1.58	1.1	1	1	1
Tuerto antes de Duerna	0.1	2	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.24	1	1	1	1
Valderaduey en Santervás de Campos	0.05	0.2	1	1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.07	1.0	1	1	1
Voltoya en Coca	0.1	0.2	1	1	1.1	1.4	1.5	1.3	1.7	1.55	1	1	1	1

					3	8		9	3					
Zapardiel antes del Duero	0.3	0.5	1.0 4	1.0 5	1.0 8	1.0 3	1.1 2	1.0 4	1.0 7	1	1	1	1	1

Tabla 7. Rangos de validez y factores de variación mensual.

4.2.4. Estimación de las STH. CAUDECO

Justificación de la metodología

El empleo de las STH para analizar el efecto de diversas gestiones del sistema en el hábitat representa la evolución directa de la metodología de las curvas HPU-Q. Ya en 1983 Milhous avanzaba su posible uso como función de producción, Waddle (1992) utilizaba las STH para crear un modelo de población potencial, mientras que Cheslack (1990), Nehring (1993) y Bovee (1999) las utilizaban para identificar episodios de estrés o de impacto grave para la supervivencia de poblaciones piscícolas.

Para una mejor interpretación de la información que las STH ofrecen es habitual emplear índices o simplificaciones de estas curvas. Uno de los más utilizados son las Curvas de Duración de Hábitat (CDH), curvas de probabilidad de superación de hábitat que indican el porcentaje de tiempo en el que se supera un valor concreto de HPU. Bovee (1997) las considera muy útiles para identificar la alteración del hábitat tanto en momentos normales como en situaciones extremas.

Otros índices accesorios de las STH son el CUT, Continuous Under Threshold, Capra et al. (1995), que señala periodos de tiempo en los que el hábitat presenta valores por debajo de un umbral predefinido, o el UCUT, Uniform Continuous Under Threshold, Parasiewicz (2008), que mejora el anterior teniendo en cuenta los bioperiodos.

Consideraciones sobre CAUDECO

Para obtener los valores temporales del HPU, es decir, la serie temporal de hábitat, CAUDECO evalúa la curva de HPU en función del caudal, con los valores de caudal de la serie temporal de caudales del tramo en cuestión. Esto es:

$$STH(i) = HPU(Q(i)) * BIOP(i) * \sum_{j=1}^m K_j(C(i))$$

Donde STH(i) es el valor de HPU que toma la serie total de hábitat en el momento temporal i, HPU(Q(i)) es el valor de HPU para un caudal Q(i), que es el valor de caudal de la serie de caudales en el instante i, BIOP(i) es el bioperiodo de la especie-etapa que se está evaluando en el momento temporal i, y K_j es la capacidad de esa especie-etapa para soportar un contaminante j, que en el momento temporal i se encuentra en una concentración C_j(i).

En caso de presentarse un valor de caudal superior al rango en el que la curva HPU-Q está definida, CAUDECO ofrece el valor de HPU correspondiente al máximo caudal en la que está definida.

Se ofrecen además las correspondientes curvas de duración de hábitat (CDH).

El programa CAUDECO es, en esencia, un evaluador masivo de STH. El cálculo masivo de STH para analizar el efecto de diversas actuaciones sobre un sistema de hábitat es útil en la medida en la que permita extraer información relevante. En éste sentido CAUDECO no solamente muestra las CDH asociadas a cada STH, sino que agrega resultados mediante las acumulaciones. El resultado de las acumulaciones son series temporales acumuladas, resultantes de la combinación de STH con características comunes, y así poder obtener información más general, en un ámbito más extenso. Además, CAUDECO permite la presentación de los resultados de HPU tanto en m² como en porcentaje, sobre el máximo valor de HPU de la curva, según el criterio de definición del máximo de HPU que se define en la IPH.

La primera acumulación que hace CAUDECO es la de las etapas de desarrollo, combinando las diferentes STH de una misma especie en el mismo tramo de río, pero de distintas etapas de desarrollo vital (adulto, juvenil, alevín o frezadero) y generando las STH por tramo y por especie. Posteriormente realiza dos acumulaciones más, una por especies, y generando la STH de cada uno de los tramos de río, y la otra por masas de agua, generando la STH de cada una de las especies. Además de presentar todas estas STH también muestra las correspondientes CDH.

Para la confección de estas STH y CDH acumuladas, CAUDECO dispone de diversos métodos de acumulación (promedio ponderado, por pesos, por mínimos). Asimismo existe la posibilidad de definir pesos para las etapas vitales, para las especies y para las masas de agua, de manera que en las acumulaciones, los resultados de unas u otras series tengan una influencia más importante en la serie acumulada resultante.

Para una mejor comprensión de los resultados que ofrecen las series acumuladas (acumulación por promedio de porcentaje ponderado, resultados en %) se presentan como ejemplo las siguientes figuras:

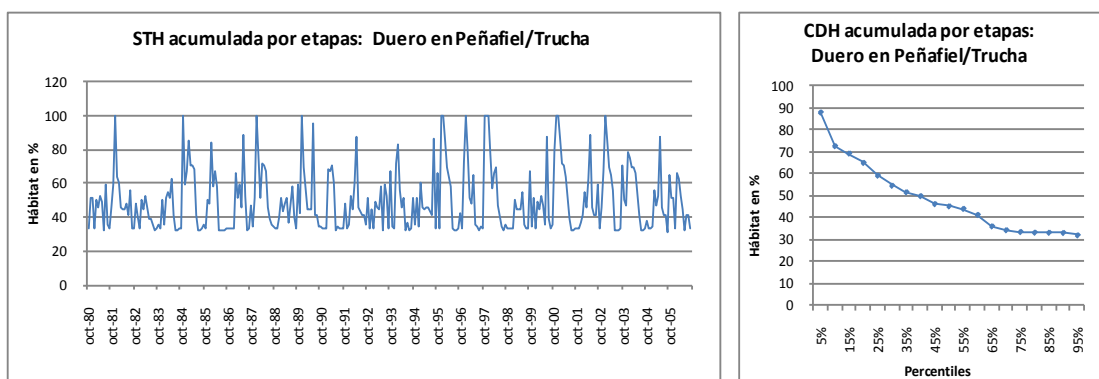


Figura 24. STH y CDH por tramo y especie (acumulación de etapas)

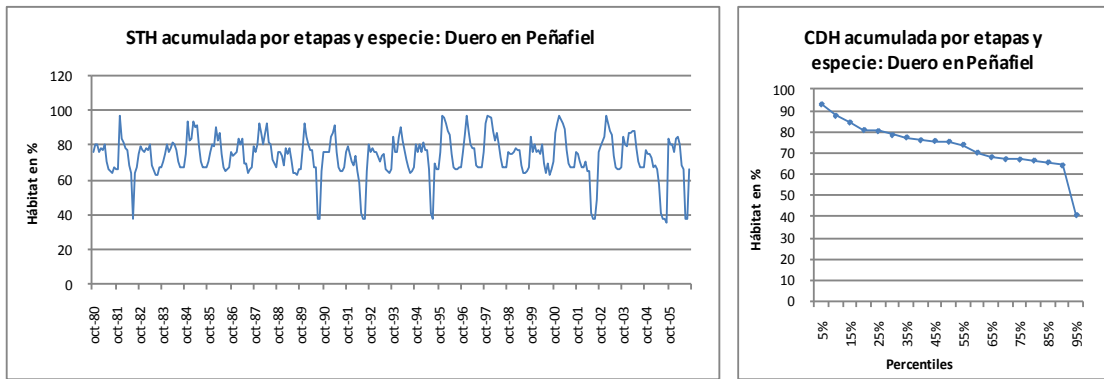


Figura 25. STH y CDH por tramo (acumulación de etapas y especies)

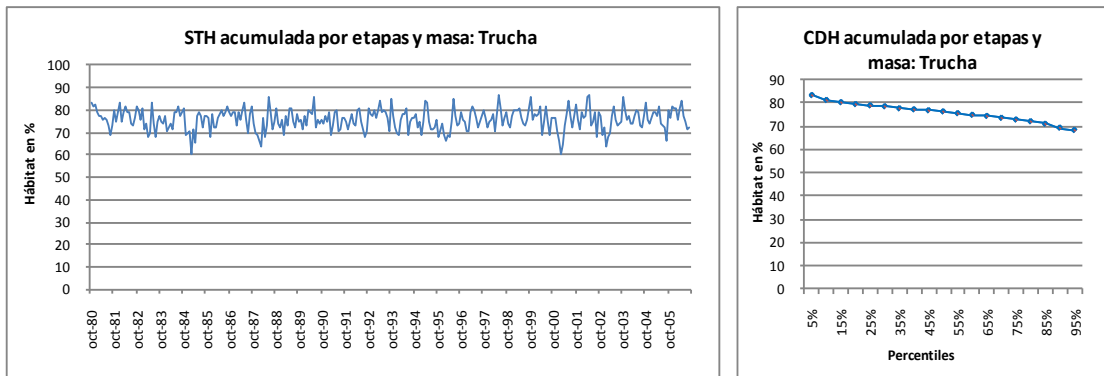


Figura 26. STH y CDH por especie (acumulación de etapas y de masas de agua)

En el presente estudio CAUDECO ha sido utilizado con las especificaciones siguientes:

Salida de resultados de HPU

Los resultados de HPU se presentan como porcentaje sobre el máximo de HPU de cada curva.

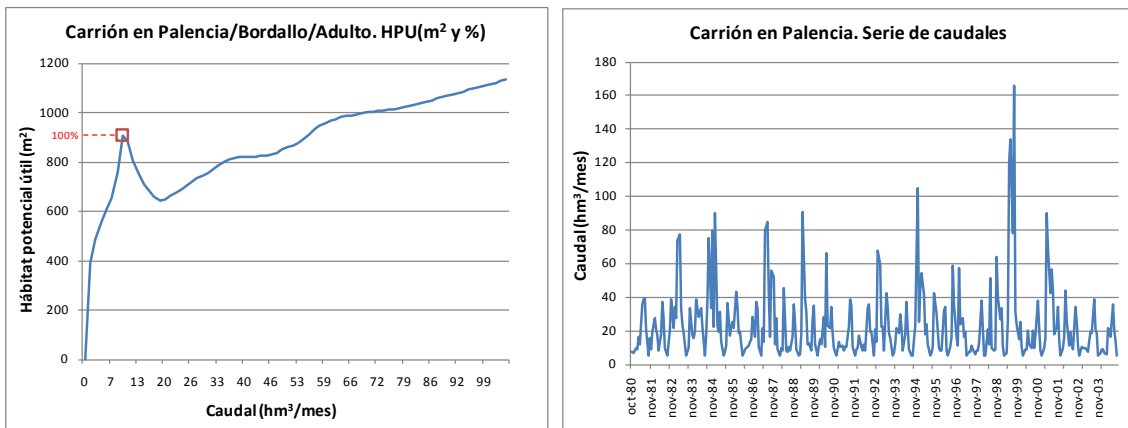


Figura 27. Curva HPU y serie de caudales para la confección de STH



Figura 28. Obtención de series temporales de hábitat.

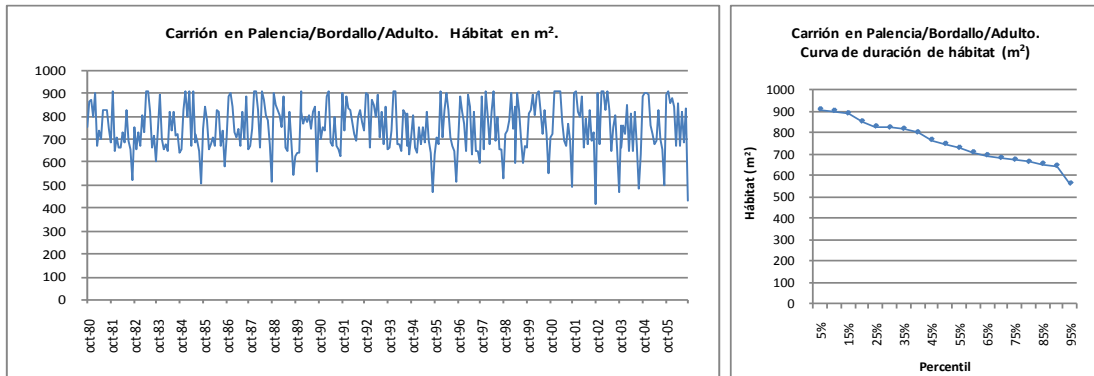


Figura 29. STH y CDH. Salida de resultados en m².

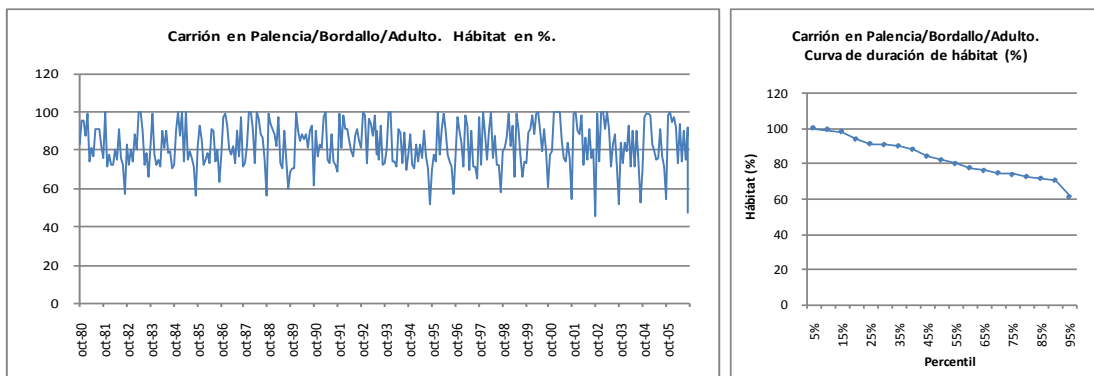


Figura 30. STH y CDH. Salida de resultados en porcentaje sobre el máximo valor de HPU.

En caso de que la evaluación de la curva HPU-Q ofrezca un valor superior al 100% de HPU (ver criterio de definición del 100% de HPU), si la salida es en m² se ofrece su valor real de HPU, pero si la salida es en % se indica un valor de 100%.

Calidad del agua

No se ha considerado en el estudio el efecto de la calidad del agua, por no disponerse de datos de calidad generales de toda la cuenca. El término correspondiente a la calidad en la fórmula de evaluación de las STH se obvia, o se le asigna el valor unitario.

Bioperiodos

Se han empleado los bioperiodos de la Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos. Estos bioperiodos son los siguientes:

	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA			VERANO		
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Ciprínidos – Alevín	X								X	X	X	X
Ciprínidos – Juvenil		X	X	X	X	X	X	X				
Ciprínidos – Adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salmónidos – Alevín						X	X	X	X			
Salmónidos – Juvenil							X	X	X	X	X	X
Salmónidos – Adulto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Salmónidos - Freza			X	X	X	X						

Tabla 8. Bioperiodos para las especies piscícolas. Fuente: Guía para la Determinación de Regímenes ecológicos.

Pesos

Se considera que todas las masas de agua del estudio tienen la misma importancia, por lo que todas tienen un peso unitario.

El Barbo, la Bermejuela, la Boga del Duero y el Bordallo tienen un peso de 1.2 por tratarse de especies endémicas de la cuenca, mientras que la Boga Común, la Anguila y la Trucha tienen un peso unitario.

En referencia a las etapas de desarrollo, las series de alevines y de frezaderos tienen un peso de 1.5, por ser etapas más vulnerables y porque los bioperiodos asociados son más cortos.

Métodos de acumulación

Las acumulaciones de etapas, de etapas y masas y de etapas y especies se realizan con los siguientes métodos:

- Promedio de porcentaje ponderado, resultados en porcentaje.

La acumulación promedio de porcentaje ponderada ofrece el resultado de promediar, teniendo en cuenta los pesos de las diferentes series de hábitat, los valores en porcentaje de la serie. Si en el mes m_j la trucha en el tramo Esla en Bretó tiene un 67% del hábitat posible, con peso 1, y la trucha en Duero en Garray tiene un 95% del hábitat, con peso 5, el resultado de acumular la trucha en estos tramos por este método es 90.33%.

$$\frac{1 * 67 + 5 * 95}{1 + 5} = 90.33\%$$

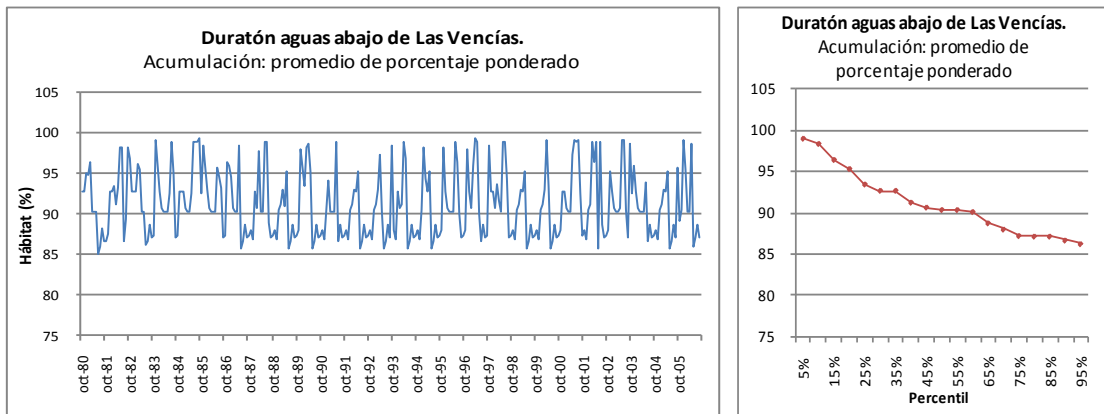


Figura 31. Acumulación por promedio de porcentaje ponderado.

Con este método de acumulación se ofrece una idea de cuál es el estado medio de hábitat, pues se promedian ponderadamente porcentajes de hábitat en cada momento temporal. Los valores no representan un porcentaje de un hábitat máximo si no el promedio de porcentaje de diferentes máximos, por lo que no tienen un sentido físico estricto.

- Multiplicativa ponderada, resultados en porcentaje.

La acumulación multiplicativa ponderada con resultados en porcentaje ofrece el porcentaje de hábitat que se produce, sobre el máximo que podría darse, ponderando los pesos de las distintas series. Si en el mes m_j el barbo adulto tiene 250 m^2 sobre 300 m^2 de hábitat máximo con peso 1, y el barbo alevín tiene 400 m^2 sobre 1000 m^2 con peso 2, el resultado es que el barbo tiene un 45.65% de su hábitat máximo.

$$\frac{1 * 250 + 2 * 400}{1 * 300 + 2 * 1000} * 100 = 45.65\%$$

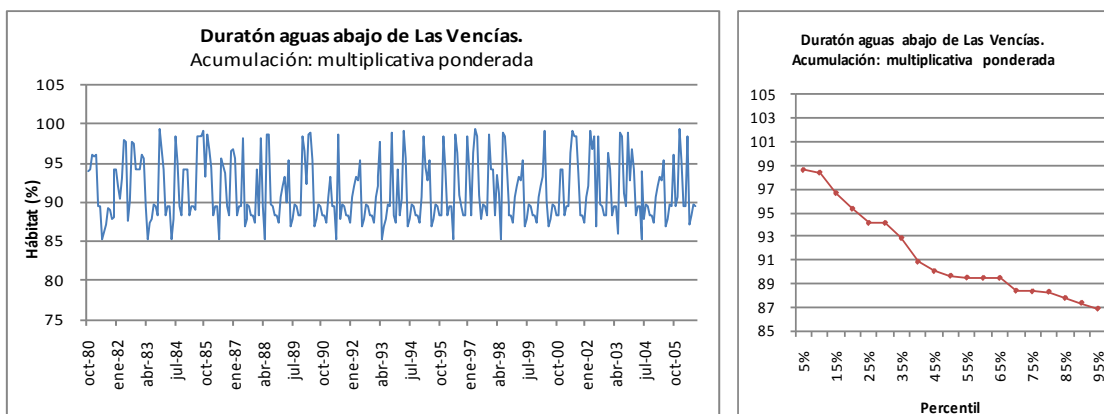


Figura 32. Acumulación multiplicativa ponderada.

La acumulación multiplicativa ponderada con resultados en porcentaje también ofrece una idea del estado medio de hábitat. Ofrece el porcentaje de hábitat sobre el máximo posible, ponderando los pesos de las series. Tiene el inconveniente de que penaliza aquellas series con un hábitat máximo pequeño, pues el efecto de su variación no se aprecia en la serie acumulada.

- Valor mínimo de porcentaje, resultados en porcentaje.

La acumulación por valor mínimo de porcentaje escoge el valor mínimo de hábitat en porcentaje. Si en el mes m_j el barbo adulto tiene 250 m^2 sobre 300 m^2 de hábitat máximo (80.33% del hábitat máximo) con peso 1, y el barbo alevín tiene 400 m^2 sobre 1000 m^2 (40% del hábitat máximo) con peso 2, el resultado de la acumulación sería de 40%.

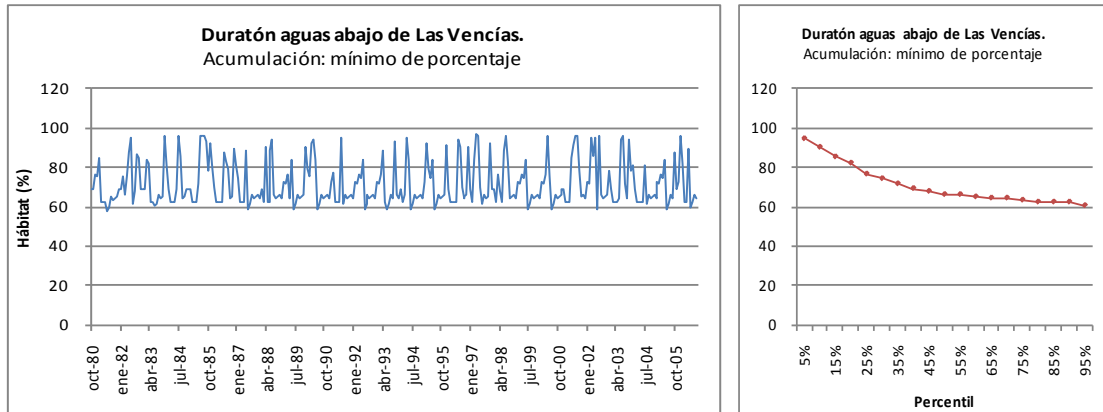


Figura 33. Acumulación por mínimo de porcentaje.

La acumulación por valor mínimo de porcentaje informa sobre el estado de hábitat mínimo, pues escoge para cada valor temporal de la serie el menor valor porcentual de hábitat de las series que acumula. Tampoco tiene sentido físico, pues presenta valores de porcentaje de distintos máximos, pero puede ser útil para identificar simulaciones muy favorables al hábitat, si su curva de duración de hábitat es elevada.

4.2.5. Índices y criterios adoptados

El análisis de la información que se genera en el desarrollo del presente estudio requiere del empleo de índices simplificadores y de la adopción criterios para la comparación de estos resultados.

Índices y criterios para la comparación de resultados de demandas

En cada simulación del modelo SIMGES se determina el flujo mensual en la red que satisface al máximo los objetivos de minimización de déficits, maximización de la producción de energía hidroeléctrica y de adaptación a las curvas de volumen objetivo en embalses.

Los resultados que SIMGES proporciona tras la simulación son, además de los caudales mensuales circulantes en cada tramo de la red, los valores mensuales, anuales y medios del periodo de simulación de todas las variables, así como garantías.

Los resultados de demandas que se analizaron en este estudio corresponden únicamente a unidades de demanda agraria, que suponen un alto porcentaje de la demanda total de la cuenca. El análisis de las demandas urbanas se obvia porque es altamente improbable que presenten variaciones debido al escaso volumen que representan frente a las primeras, y porque las reglas de gestión introducidas en el modelo priorizan su abastecimiento frente a los otros usos.

Resultados de demandas por unidad de demanda agraria

- Demanda anual (hm^3).
- Déficit medio anual de suministro (hm^3).

- Máximo déficit anual de suministro (hm^3 y % sobre la dotación anual).
- Máximo déficit acumulado de 2 años consecutivos (hm^3 y % sobre la dotación anual).
- Máximo déficit acumulado de 10 años consecutivos (hm^3 y % sobre la dotación anual).
- Fallos de suministro, según el criterio UTAH que marca la IPH para las demandas agrarias.

Estos resultados se obtienen para cada unidad de demanda agraria del modelo, con un total de 75 UDA.

Los resultados de demandas que SIMGES proporciona tras cada simulación se agregan a nivel de sistema de explotación, facilitándose con ello la identificación de variaciones entre simulaciones.

Resultados de demandas por sistema de explotación

Para agregar los resultados de demandas por UDA, se suman los valores de cada resultado pertenecientes a demandas del mismo sistema. Con ello se obtiene la demanda agraria anual del sistema de explotación, y su déficit medio, pero no el déficit máximo anual, ni el de dos años consecutivos ni el de diez, pues generalmente, el déficit máximo anual en cada sistema de explotación no coincide con la suma de los déficits máximos anuales de las demandas agrarias del sistema de explotación. Esto solo ocurriría si todas las demandas del sistema tuvieran el máximo déficit anual el mismo año.

- Demanda anual del sistema (hm^3)
- Déficit anual medio del sistema (hm^3)
- Suma de los déficits anuales máximos de las demandas del sistema (hm^3 y % sobre la demanda anual del sistema)
- Suma de los déficits máximos de 2 años consecutivos de las demandas del sistema (hm^3 y % sobre la demanda anual del sistema)
- Suma de los déficits máximos de 10 años consecutivos de las demandas del sistema (hm^3 y % sobre la demanda anual del sistema)
- Suma de fallos de suministro de las unidades de demanda agraria del sistema.

Para identificar qué variaciones de los valores de resultados de demandas entre simulaciones con distintos regímenes ecológicos tienen suficiente entidad es necesario definir el siguiente criterio:

Criterio de variación significativa en resultados de demandas

	Incremento en el nº de Fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. anual			
		Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Resultados por UDA	>0	>2%	>10%	>15%	>30%

Resultados por sistema ³	>0	>0.5%	>2.5%	>3.75%	>7.5%
-------------------------------------	----	-------	-------	--------	-------

Tabla 9. Criterio de variación significativa de índices de demandas.

Criterio de fallo de suministro a demandas agrarias

Además, en el desarrollo del estudio se hace referencia numerosas veces al criterio UTAH de fallo de suministro a demandas agrarias adoptado en la IPH. Este criterio supone fallo de suministro cuando:

- El máximo déficit de un año es superior al 50% de la dotación anual.
- El máximo déficit de 2 años consecutivos supera el 75% de la dotación anual.
- El máximo déficit de 10 años consecutivos supera el 100% de la dotación anual.

Criterios para la comparación de resultados de producción de energía hidroeléctrica

El modelo SIMGES cuenta con 43 centrales hidroeléctricas. Los resultados de producción que presenta son la evolución mensual de la producción en cada central, en el periodo de simulación, y la producción anual media.

Los valores que se analizarán para la comparación entre simulaciones son:

- Producción anual media en cada central (GW·h/año)
- Producción anual media por sistema de explotación (GW·h/año)
- Producción anual media total (GW·h/año)

Criterios para la comparación de resultados de hábitat

La obtención de los resultados de hábitat en los 32 tramos de río producidos en la cuenca en unas condiciones determinadas consta de dos pasos.

El primero es la simulación del sistema de recursos hídricos en la situación deseada. De todos los resultados que SIMGES proporciona, se toman las 32 series de caudales medios mensuales de los 32 tramos en los que se quiere evaluar el hábitat.

El segundo paso consiste en combinar estas series de caudales medios mensuales con las curvas HPU-Q disponibles como datos de partida del estudio. Para ello se emplea el programa CAUDECO. El resultado de esta combinación son 284 series de hábitat potencial útil para una especie-etapa determinada en un tramo de río, 125 series de hábitat por especie y masa de agua, 32 series de hábitat por masa de agua y 7 series de hábitat por especie, así como sus curvas de duración de hábitat correspondientes. Los resultados de HPU se mostrarán en % sobre el HPU máximo.

Este segundo paso puede repetirse para cada uno de los métodos de acumulación escogidos (por mínimos, multiplicativa ponderada y por promedio de porcentaje ponderada), con el consiguiente aumento de la información resultante. Generalmente sólo se usará las acumulaciones por promedio de porcentaje ponderado y por mínimos, por lo que se trabajará

³ Recuérdese que no se habla de déficit máximo anual por sistema de explotación, sino de la suma de déficit máximo anual de las UDA del mismo sistema de explotación, y de igual manera con los déficits de 2 y 10 años consecutivos

con $2*(284+125+32+7) = 2*448 = 896$ series de hábitat y sus correspondientes CDH, para cada simulación.

El volumen de información que se maneja impide que la consulta directa de series temporales de hábitat y de curvas de duración de hábitat sea útil para identificar diferencias entre simulaciones.

Para identificar las diferencias entre simulaciones se crean índices de cada serie y curva de duración de hábitat, de la misma manera en que se analizan los niveles de suministro a demandas. Estos índices requieren de la definición de fallo.

Criterio de fallo mensual de hábitat

El criterio que la IPH marca para la elección del caudal ecológico de un tramo se divide en dos, según se trate de lo que denomina una masa de agua muy alterada o no muy alterada. Lo que estos criterios establecen, previa la identificación de la especie-etapa crítica del tramo, es “considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo” para masas de agua no muy alteradas, y más adelante puntualiza “el régimen de mínimos en las masas muy alteradas hidrológicamente estará comprendido entre el 30 y el 80% del hábitat potencial útil máximo de la masa de agua”.

De las 32 masas de aguas en las que se va a evaluar el hábitat de las especies en el presente estudio, 4 se clasifican en el PHD como muy alteradas, 6 como posiblemente muy alteradas y 22 no muy alteradas. Atendiendo pues al criterio de la IPH para la elección del caudal mínimo del régimen de caudales ecológicos, en este estudio se define fallo mensual cuando el valor del hábitat en porcentaje es menor al 40%.

Índices de evaluación del hábitat

Definido el umbral de fallo en un valor de hábitat inferior al 40% del hábitat potencial útil máximo, se eligen índices que extraigan la información que las series de hábitat y las curvas de duración de hábitat contienen. Estos índices son:

- Garantía
- Resiliencia
- Acumulado
- Valor del percentil 80

La garantía se define como:

$$\text{Garantía} = \frac{n^{\circ} \text{ meses} - n^{\circ} \text{ fallos}}{n^{\circ} \text{ de meses}} * 100$$

La resiliencia es el número máximo de fallos consecutivos. En series de especies-etapas de alevines, juveniles y frezaderos, la resiliencia está limitada por su bioperiodo. Así por ejemplo, la trucha en estado de freza tiene su bioperiodo limitado a los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, con lo que la resiliencia de una serie temporal de hábitat de trucha-freza no podrá superar el valor 4.

Se llama acumulado a la suma de los percentiles de superación del 80, 85, 90 y 95. Éstos son los 4 percentiles de menor valor de cada una de las curvas de duración de hábitat. Valores

elevados supondrán una situación mejor que valores menores. Su valor variará entre 400% y 0%. El valor de acumulado en el siguiente ejemplo es de 277,4%.

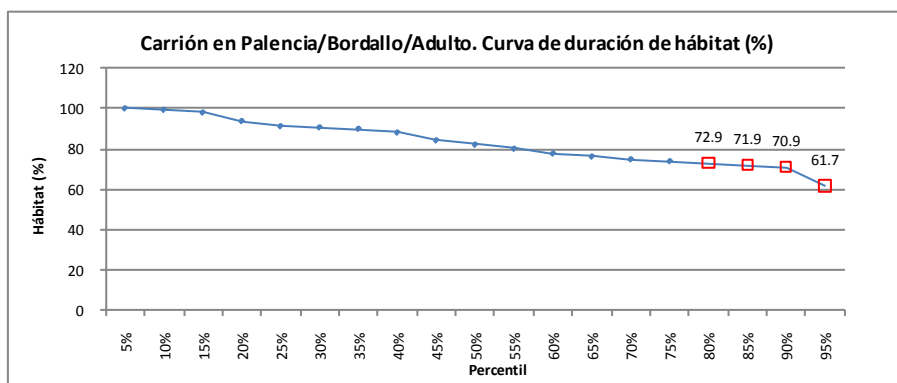


Figura 34. Índice de HPU acumulado, en porcentaje sobre el máximo valor de hábitat

El último índice elegido es el percentil 80 de superación de hábitat. En el ejemplo anterior sería 72,9%.

En consecuencia, el análisis hidrobiológico de cada simulación ofrecerá 4 resultados (garantía, resiliencia, acumulado y percentil 80) de cada una de las 448 series de hábitat, para cada método de acumulación usado.

El criterio adoptado para el análisis de los resultados de hábitat producidos en cada simulación consiste en identificar, en primera instancia, la información relevante de las series de hábitat por especie y por masa de agua. Éstas son series de alto grado de acumulación, es decir, son el resultado de acumular muchas otras series, y de ellas se puede deducir las pautas generales de la producción de HPU en cada simulación.

Posteriormente se analizan los resultados de detalle de hábitat, las series de hábitat por especie y masas de agua, y las series no acumuladas, series de hábitat por especie-etapa y masa de agua. Ésta son un total de 409 series, y se identifican las series que presentan resultados de hábitat más bajos. Para ello se define un criterio de fallo para las series de hábitat.

Criterio de garantía para las series de hábitat.

Se define un criterio de fallo para las series de hábitat por el que una serie de hábitat es satisfactoria cuando simultáneamente presenta los siguientes valores:

- Garantía superior al 80% del HPU máximo
- Resiliencia de dos o menos meses consecutivos de fallo
- Percentil 80 superior al 40% del HPU máximo
- Acumulado superior al 160% del HPU máximo.

Criterio de variación significativa en índices de hábitat

Finalmente se define qué variaciones debe producirse en los índices de hábitat para que se consideren significativas. Estas variaciones significativas dependen del grado de acumulación de la serie de hábitat:

	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Serie de hábitat por especie	>1%	>0	>1%	>4%
Serie de hábitat por tramo	>2%	>1	>2%	>8%
Serie de hábitat de detalle	>4%	>2	>4%	>15%

Tabla 10. Criterio de variación significativa en índices de hábitat.

Criterio simplificado de evaluación del hábitat

Como se ha comentado varias veces, para el análisis de la influencia del valor de caudal ecológico mínimo, se discretiza el rango de validez de caudal ecológico mínimo en cada tramo en diez valores de caudal equidistantes. En todos los procesos de análisis del estudio, el valor de caudal ecológico mínimo en cada tramo es siempre uno de los diez valores de caudal a los que ha quedado reducido el rango de validez. Así podemos hablar del primer valor de caudal ecológico mínimo del rango, del segundo, etc. hasta el décimo valor.

Partiendo de que cuanto más alto es el valor de caudal ecológico mínimo en el tramo, el resultado del hábitat potencial de las especies crece, parece evidente que cuanto mayor es la suma de caudal ecológico en los tramos de estudio, mayor será el hábitat producido.

Sin embargo, esta afirmación no siempre es válida, puesto que los rangos de valores de caudal adecuados para cada tramo pueden diferir mucho, con caudales muy grandes en tramos bajos de la cuenca como en Duero en Aldeadávila, tramo en el que el caudal ecológico mínimo debe oscilar entre 60 y 80 m³/s, o caudales muy pequeños en tramos de cabecera como el de Rianza aguas abajo de Linares del Arroyo, en el que el caudal ecológico mínimo debe oscilar entre 0.1 y 0.5 m³/s. De esta manera, el valor del caudal ecológico mínimo en el tramo bajo tiene mucha más importancia en la suma final que del tramo de cabecera.

Para darle a cada tramo el mismo peso, no se sumará el valor del caudal ecológico mínimo en el tramo, si no el ordinal que representa en el rango de validez del propio tramo. Se entenderá mejor con un ejemplo:

<u>Nombre del tramo:</u>												Duero en Aldeadávila		
<u>Rango de validez del caudal ecológico mínimo:</u>												60 - 80 m³/s		
Factor de variación														
Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.			
1	1.1	1.14	1.22	1.19	1.41	1.42	1.36	1.06	1	1	1			
Regímenes de caudal ecológico mínimo. Discretización del rango de validez.												Caudal	Ordinal	
60	66.00	68.40	73.20	71.40	84.60	85.20	81.60	63.60	60	60	60	60	60	1
62.22	68.22	70.62	75.42	73.62	86.82	87.42	83.82	65.82	62.22	62.22	62.22	62.22	62.22	2
64.44	70.44	72.84	77.64	75.84	89.04	89.64	86.04	68.04	64.44	64.44	64.44	64.44	64.44	3
66.67	72.67	75.07	79.87	78.07	91.27	91.87	88.27	70.27	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	4
68.89	74.89	77.29	82.09	80.29	93.49	94.09	90.49	72.49	68.89	68.89	68.89	68.89	68.89	5
71.11	77.11	79.51	84.31	82.51	95.71	96.31	92.71	74.71	71.11	71.11	71.11	71.11	71.11	6
73.33	79.33	81.73	86.53	84.73	97.93	98.53	94.93	76.93	73.33	73.33	73.33	73.33	73.33	7
75.56	81.56	83.96	88.76	86.96	100.16	100.76	97.16	79.16	75.56	75.56	75.56	75.56	75.56	8
77.78	83.78	86.18	90.98	89.18	102.38	102.98	99.38	81.38	77.78	77.78	77.78	77.78	77.78	9
80	86.00	88.40	93.20	91.40	104.60	105.20	101.60	83.60	80	80	80	80	80	10

Nombre del tramo:

Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo

Rango de validez del caudal ecológico mínimo:

0.1 – 0.5 m³/s

Factor de variación

Oct. 1	Nov. 1	Dic. 1.22	Ene. 1.5	Feb. 1.54	Mar. 1.49	Abr. 1.58	Mayo 1.51	Jun. 1.11	Jul. 1	Ago. 1	Sep. 1	Caudal indicador	Ordinal
Regímenes de caudal ecológico mínimo. Discretización del rango de validez.													
0.10	0.10	0.12	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.11	0.10	0.10	0.10	0.1	1
0.14	0.14	0.17	0.19	0.20	0.19	0.20	0.20	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	2
0.19	0.19	0.21	0.24	0.24	0.24	0.25	0.24	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	3
0.23	0.23	0.26	0.28	0.29	0.28	0.29	0.28	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	4
0.28	0.28	0.30	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	5
0.32	0.32	0.34	0.37	0.38	0.37	0.38	0.37	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	6
0.37	0.37	0.39	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	7
0.41	0.41	0.43	0.46	0.47	0.46	0.47	0.46	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	8
0.46	0.46	0.48	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	9
0.50	0.50	0.52	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.51	0.50	0.50	0.50	0.5	10

- **Combinación de caudal ecológico mínimo en tramos 1:**

Se toma el primer régimen de caudal ecológico mínimo en el tramo de Duero en Aldeadávila y el último de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, la suma de caudales es 60.5 m³/s, pero la de ordinales es 11.

- **Combinación de caudal ecológico mínimo en tramos 2:**

Se toma el segundo régimen de caudal ecológico mínimo en Duero en Aldeadávila y el primero de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, la suma de caudales es 62.32 m³/s, y la de ordinales 3.

Bajo la premisa de que el hábitat es mejor cuanto más caudal, y el hábitat en todos los tramos es igual de importante, la producción de hábitat será mejor con la combinación de caudales 1 que con la 2. Por tanto, la manera correcta de evaluar este criterio es sumar el ordinal del caudal ecológico mínimo indicativo, dentro del rango de validez discretizado.

Criterio de 100% de HPU

Para el análisis del hábitat en este estudio se emplea, en todo momento, resultados de HPU en porcentaje sobre el máximo valor de la curva de HPU-Q. La determinación del valor máximo de hábitat, el valor del 100% de HPU, se hace según los criterios que se indican en la IPH:

En aquellos tramos en los que las especies presentan un máximo en su curva, se asume ese máximo, siempre contrastándolo con los datos hidrológicos, de tal manera que se encuentre dentro de un rango lógico de caudales ecológicos, que puedan ser asumidos por el tramo.

En los casos en que la curva de hábitat potencial es creciente y sin aparentes máximos, el valor máximo se asume como el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el percentil 10%-25%, en este estudio el 25%, de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.

Se estudian también como complemento a los análisis anteriores los puntos de cambio de pendiente de las curvas, en los casos en los que se entienda necesario.

Nota a la elección de criterios

Los índices y criterios adoptados en el presente estudio, a excepción de aquellos especificados en la ley, así como las especificaciones con las que se generan las STH mediante el programa CAUDECO serán útiles en la medida en que pongan de manifiesto las diferencias en el suministro a demandas, en la producción de energía hidroeléctrica y especialmente en la producción de hábitat potencial útil, entre las distintas simulaciones. En cualquier caso será la experiencia la que permita una definición más fina de los umbrales de fallo, y una elección de los índices más apropiados, para el empleo de esta metodología.

Por ello resulta recomendable un análisis final del éxito en la definición de los criterios y los índices, así como el empleo de los mismos, con las modificaciones que tras este estudio se entiendan necesarias, en futuros trabajos similares tanto en la misma cuenca, como en otras.

4.2.6. Alcance del estudio

La aplicación realizada trata de la definición de regímenes ecológicos mínimos para periodos normales. En este sentido, la extensión del valor de HPU asociado al máximo caudal de definición de la curva HPU-Q, para caudales superiores al rango de definición de esta curva, no supone una contradicción. Esto es así porque aunque el hábitat en caudales demasiado elevados pueda disminuir, el presente estudio trata solamente de identificar situaciones de deficiencia de hábitat por defecto de caudal, pues solamente se diseñan caudales ecológicos mínimos.

La aparición de resultados de hábitat demasiado bajos, así como de situaciones de estrés hídrico reflejadas en los fallos de suministro a unidades de demanda se corresponde con situaciones extraordinarias de sequía. La aparición de estos sucesos no supone un contratiempo insalvable pues el presente estudio solamente pretende la definición de reglas válidas para situaciones normales. En situaciones extraordinarias se verán definir nuevas reglas para el diseño de regímenes ecológicos.

El modelo SIMGES de simulación emplea un intervalo temporal mensual, por lo que las series de caudales resultantes, y por tanto, las STH calculadas, usan la misma discretización temporal.

Aunque a priori el paso mensual en el uso de STH resulta demasiado simplificador, se debe tener en cuenta que la gran parte de los ríos en los que se está actuando sufren una hiperregulación de sus aguas, con lo que el caudal simultáneo resulta muy similar al caudal medio mensual en todo momento.

4.3. Análisis preliminar

En este análisis preliminar se pretende identificar las características de la situación inicial en la cuenca y de la situación con los regímenes ecológicos mínimos inferiores, en términos de suministros a demandas, de producción de energía hidroeléctrica y de hábitat potencial, con el fin de mostrar el potencial de mejora que el estudio pretende obtener.

También se incluye un somero análisis hidrológico de los posibles regímenes ecológicos.

4.3.1. Análisis hidrológico de los regímenes ecológicos

Regímenes ecológicos mínimos

En este apartado se mostrará la adecuación hidrológica de los rangos de validez de caudal ecológico mínimo en cada tramo. Para ello se comparará los regímenes de caudal ecológico mínimo superior e inferior en cada tramo, con la serie de caudales medios mensuales en régimen natural del propio.

El caudal ecológico en un tramo de río marca el mínimo valor de caudal que debe circular por ese tramo en todo momento. Éste caudal no debe ser único, sino que debe variar a lo largo del año de manera que imite el régimen natural de caudales, con máximos en los meses de invierno y primavera y mínimos en los de verano y otoño. Se trata pues de un régimen anual de caudal ecológico mínimo. Los regímenes de caudal ecológico mínimo pueden diseñarse para años medios, años de sequía o años húmedos. En este estudio se estudian y diseñan regímenes de caudal ecológico para años medios.

Para confeccionar un régimen de caudal ecológico se debe escoger un valor mínimo de caudal, dentro del rango de caudal mínimo especificado para cada tramo, y extenderlo a lo largo del año mediante la curva de variación anual elegida. Este mínimo valor de caudal del régimen de caudal ecológico mínimo representará el propio régimen, servirá para identificarlo, pese a que el factor de variación anual es igual de importante que éste para definir completamente el régimen de caudal ecológico mínimo.

Tramo de río: Duero en Aldeadávila

Qeco superior: 60 m³/s Qeco inferior: 80 m³/s Qeco: 65 m³/s

Factor de variación anual

Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
1	1.1	1.14	1.22	1.19	1.41	1.42	1.36	1.06	1	1	1

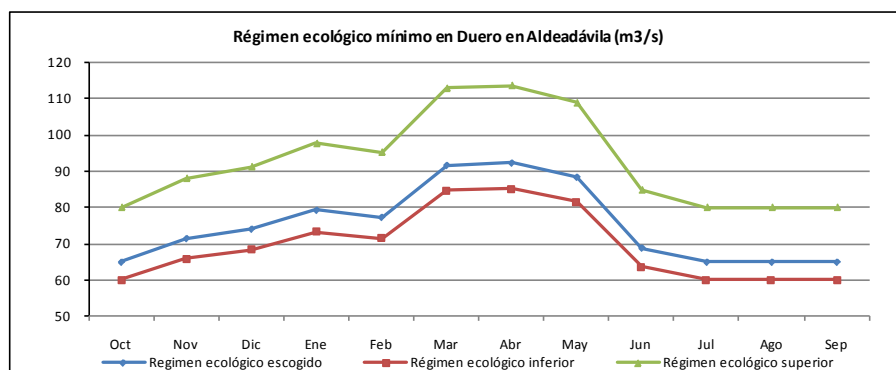


Figura 35. Rango de validez de los regímenes ecológicos mínimos

Se trata ahora de comparar estos regímenes de caudal ecológico con el régimen natural.

Para obtener el comportamiento de la cuenca en régimen natural se realiza una simulación del modelo de la cuenca en la que se anulan las demandas y se elimina la acción de los canales y los embalses, anulando el caudal máximo en los canales y el volumen de embalse máximo. También hay que eliminar el efecto inicial de las acciones humanas sobre los acuíferos, anulando su volumen inicial en el modelo. El resultado de esta simulación estima la respuesta natural de la cuenca a la serie de aportaciones naturales. Del resultado de todas las variables que intervienen en el proceso, interesan las series de caudales en los tramos en los que se va a imponer un caudal ecológico. Se trata de 32 series, una por cada tramo de caudal ecológico, de 312 valores mensuales de caudal medio en hm³/mes cada una.

Extendiendo las curvas de régimen ecológico mínimo inferior y superior a los 26 años de simulación, obtendremos las series de caudal ecológico mínimo inferior y superior en cada tramo.

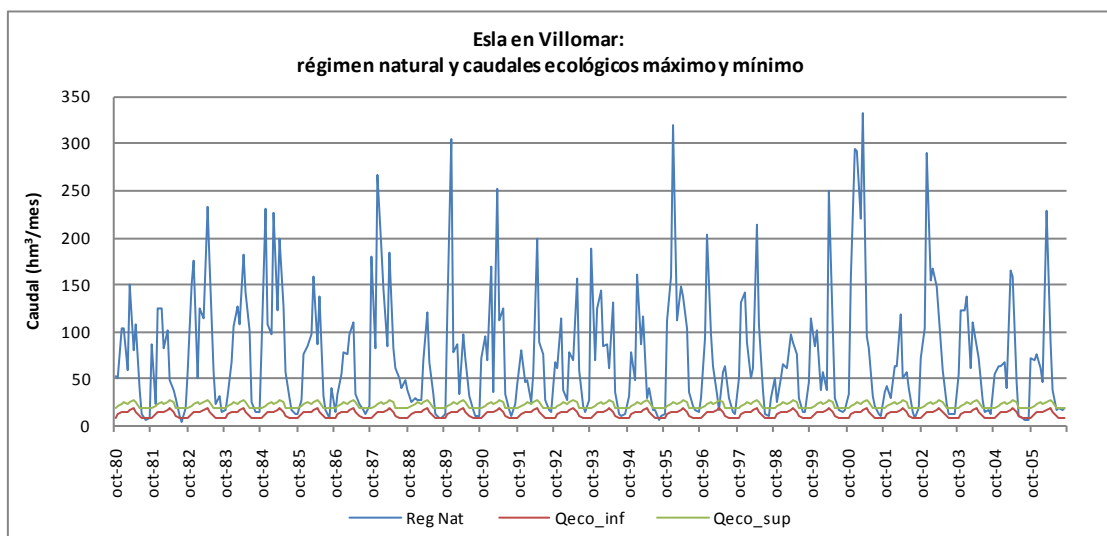


Figura 36. Regímenes ecológicos mínimos superior e inferior. Comparación con régimen natural.

Como se puede observar, el régimen ecológico puede exceder en algunos meses el caudal que circularía en régimen natural. Se trata de conocer en qué porcentaje de tiempo ocurre esto, para cada tramo de caudal ecológico.

Realizando este mismo análisis con todos los tramos de caudal ecológico se obtiene que para cada tramo de río de caudal ecológico, la serie de caudales mensuales en régimen natural es superada por el régimen ecológico mínimo inferior y superior, los siguientes porcentajes del tiempo de simulación:

Denominación del tramo	Qeco_inf	Qeco_sup
Adaja en Arévalo	0.00%	14.74%
Águeda en Castillejo Martín Viejo	3.85%	17.95%
Arlanzón en Villasur de Herreros	5.77%	32.69%
Arlanza en Quintana del Puente	0.96%	2.56%
Carrión en Palencia	2.56%	22.76%
Duero en Aldeadávila	0.32%	2.56%
Duero en Peñafiel	1.28%	8.01%
Duero en Toro	0.00%	6.73%
Duero después del río Riaza	1.28%	17.95%

Denominación del tramo	Qeco_inf	Qeco_sup
Duero en Garray	0.64%	5.45%
Duración aguas abajo de Las Vencías	0.00%	7.69%
Eresma en Segovia	6.73%	28.53%
Esgueva en Villanueva de los Infantes	0.32%	26.28%
Esla en Villomar	3.85%	20.83%
Esla en Bretó	2.24%	4.17%
Esla en Villalcampo	0.32%	1.60%
Guareña en Toro	0.00%	28.85%
Huebra en Puente Resbala	0.00%	5.45%
Órbigo en Cebrones	0.00%	3.21%
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	0.32%	5.13%
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	0.00%	3.53%
Porma en Secos de Porma	0.00%	10.90%
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	2.88%	18.91%
Rituerto en Sauquillo de Boñices	2.88%	24.68%
Tera en Mozar de Valverde	0.96%	14.74%
Tormes aguas abajo de Almendra	0.00%	12.50%
Tormes en Contienza	8.65%	16.99%
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	1.92%	21.79%
Tuerto antes de Duerna	0.00%	0.64%
Valderaduey en Santervás de Campos	0.00%	0.00%
Voltoya en Coca	0.00%	1.60%
Zapardiel antes del Duero	0.00%	2.88%
Media	1.49%	12.26%

Tabla 11. Superación del régimen ecológico por parte de los regímenes ecológicos mínimos superior e inferior.

Como ejemplo, la serie de caudal ecológico mínimo en el tramo Pisuerga entre Arlanza y Carrión superará al régimen natural entre el 2.56% y el 8.01% del tiempo en el periodo de simulación.

El valor medio de excedencia del régimen natural por el régimen de caudal ecológico mínimo se encuentra en un rango aceptable (5% a 10%). De todas maneras, respecto al régimen ecológico mínimo superior hay que decir que este valor de excedencia es mucho más grande (mayor al 15%) en algunos tramos. Esto se debe a que se está diseñando un régimen ecológico basado en el régimen natural medio, pero existen momentos de sequía en los que el régimen natural de caudales disminuye. Esto no supone ninguna contradicción porque en las sequías, por el tramo pasará tanta agua como haya, y no más, y el régimen ecológico coincidirá con el natural. Se está diseñando un régimen mínimo para años medios, que en años de sequía se obviarán.

Se concluye que los rangos de validez para los regímenes de caudal ecológico mínimo en tramos son adecuados hidrológicamente.

Régimen de caudal ecológico máximo

Por otra parte, no solo la falta de agua es perjudicial para el ecosistema. Caudales demasiado elevados pueden destruir el hábitat por arrastre de las especies; variaciones bruscas y aleatorias de caudal pueden confundir y desorientar a las especies (no solo piscícolas), cuyos ciclos de vida concuerdan con las variaciones de caudal en régimen natural.

Por ello, en determinadas situaciones, limitar el caudal máximo acotando un huso de caudales puede ser necesario para garantizar el hábitat de las especies.

En nuestro estudio no se va a realizar el análisis de los caudales ecológicos máximos en la cuenca para asegurar un hábitat aceptable y mantener niveles de satisfacción a demandas elevadas. Pese a ello, se explica en qué consiste el umbral máximo de caudal por motivos ecológicos.

Para la obtención del rango de caudales ecológicos máximos se analizan las curvas de probabilidad de no excedencia de caudales diarios en régimen natural y de desembalses diarios. Seguidamente se analiza la variación de la conectividad y el refugio de las especies presentes con el caudal, entre caudal 0 y el mayor percentil 90 de las dos curvas (llamémoslo Caudal P90). El caudal máximo debe cumplir que el refugio para la especie-etapa más perjudicada, no disminuya del 50% del valor máximo de refugio de esta especie entre los caudales 0 y caudal p90, y que no provoque la pérdida total de conectividad en el tramo. El hecho de que generalmente la etapa más restrictiva sea alevín provoca que el caudal máximo sólo sea de aplicación en los meses en que el alevín de esta especie-etapa exista, siendo el caudal máximo ecológico en el resto de los meses el caudal p90. Así aparece la variación anual de los caudales máximos.

Para la cuenca del Duero se tienen curvas de caudales máximos (no confundir con la curva de caudal ecológico mínimo superior) que no se deben rebasar, en nueve tramos de río situados inmediatamente aguas abajo de presas. Son curvas y no caudales, pues también presentan una variación mensual, en función de si la especie-etapa restrictiva se encuentra presente ése mes o no.

Comparando estas curvas de caudal máximo con el régimen natural se obtienen nueve gráficos del siguiente tipo:

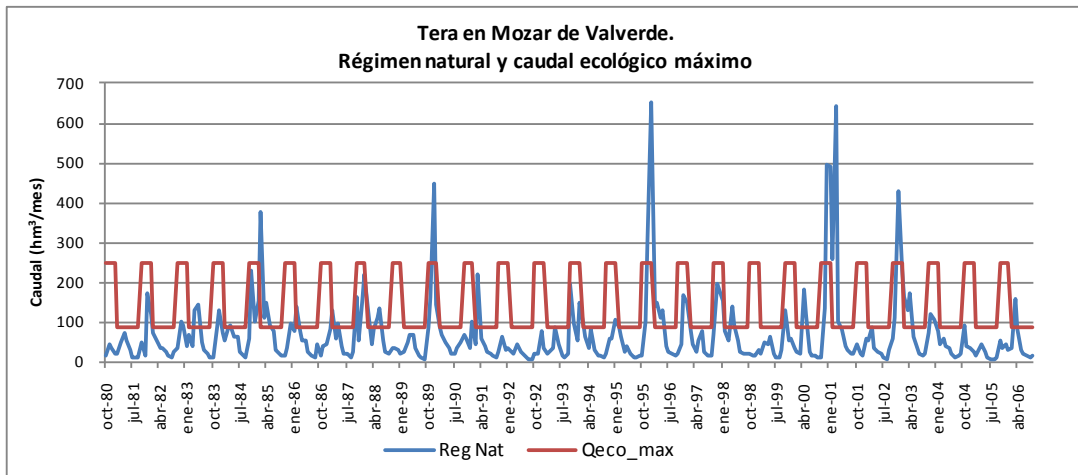


Figura 34. Régimen ecológico máximo. Comparación con el régimen natural.

El régimen natural excede en ciertos momentos el caudal máximo. Esto se debe a que se está diseñando un caudal máximo para un año medio. En momentos excepcionales de grandes avenidas, este máximo será superado.

Estos caudales de sequía, menores al régimen ecológico mínimo, o de avenidas, superiores al régimen ecológico máximo, también tienen su importancia en la conformación del hábitat. Los primeros provocan situaciones duras en las que las especies autóctonas adaptadas resisten pero no las especies invasoras; los caudales de avenidas conforman el hábitat por procesos erosivos y de transporte excepcionales.

Entre otros usos, los embalses sirven para laminar avenidas. Observemos las series de caudales de la situación Plan (respuesta de la cuenca en la situación prevista para el año 2015 en el PHD y en la que se tiene en cuenta la regulación de caudales en las presas) frente al caudal máximo ecológico.

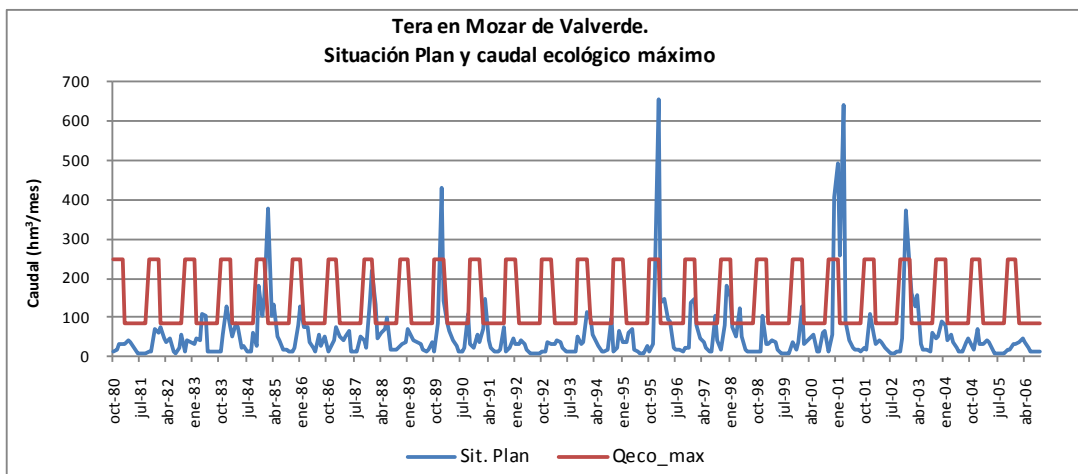


Figura 35. Régimen ecológico máximo. Comparación con caudales regulados.

Los porcentajes de tiempo en los que las series de caudales en régimen natural y las series de caudales en la situación Plan superan el régimen máximo se presentan en la siguiente tabla:

EXCEDENCIA DEL CAUDAL MÁXIMO ECOLÓGICO
--

Denominación del tramo	Reg. Net.	Sit. Plan
Arlanzón en Villasur de Herreros	23.72%	4.49%
Duero en Aldeadávila	0.00%	9.94%
Duero en Toro	23.40%	14.42%
Duratón aguas abajo de Las Vencías	15.38%	9.29%
Esla en Villalcampo	12.18%	4.49%
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	3.21%	1.28%
Tera en Mozar de Valverde	12.50%	8.97%
Tormes aguas abajo de Almendra	20.51%	0.00%
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	31.73%	23.72%
Media	15.85%	8.51%

Tabla 12. Excedencia del régimen natural por parte del régimen ecológico máximo.

Como era de esperar, la excedencia con regulación es siempre inferior a la que se produciría en régimen natural.

4.3.2. Descripción de la situación plan

Se llama situación Plan al escenario previsto en el Plan hidrológico de la cuenca del Duero para el año 2015, evaluado mediante un modelo de simulación del sistema de recursos hídricos de la parte española de la cuenca del río Duero. Para la ejecución de este modelo se usa una serie de aportaciones que comprende el periodo desde Octubre de 1980 hasta Septiembre de 2006.

Esta serie es fruto de la restitución al régimen natural de los caudales circulantes en los ríos del sistema modelado, que forma parte de los trabajos realizados para la elaboración del Plan Hidrológico del Duero, y del empleo del modelo precipitación-escorrentía desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Las demandas correspondientes al escenario 2015 se estiman en el PHD a partir de la evolución prevista de los factores determinantes (población y vivienda, producción agraria y políticas públicas).

La demanda total consuntiva se prevé de unos 4.636 hm³/año, siendo la demanda que representa un mayor volumen la agropecuaria, con unos 4.320 hm³/año, un 93% de la demanda total. La demanda urbana se prevé de 262 hm³/año que representan un 6%, la demanda industrial no dependiente de las redes de abastecimiento urbano supone casi 50 hm³/año, un 1% de la demanda total, y la recreativa apenas 8 hm³/año, el 0,2% de la demanda total.

Al igual que en la situación actual, el sistema de explotación con mayor demanda es el Esla con un 24% de la demanda total de la parte española de la cuenca, por lo tanto representa un mayor porcentaje de la demanda que en la situación actual. Le siguen los sistemas Tormes, con

el 15%, Bajo Duero, con un 11% y Órbigo, con un 10%. El uso agropecuario sigue siendo el principal destino, y en particular el agrícola, seguido del urbano.

Estos valores representan un descenso de la demanda respecto de la situación actual, como consecuencia, especialmente, de la mejora de las eficiencias con nuevas o renovadas infraestructuras, que neutraliza el efecto del incremento de superficie regable y de unidades de demanda urbana respecto la situación actual.

El modelo de simulación incluye las mejoras y novedades en infraestructuras que se prevén para el 2015, y con ellas las eficiencias que se pretende que conlleven.

También se incluyen en la simulación situación Plan 45 tramos con caudales mínimos, correspondientes a los caudales ecológicos de explotación tenidos en cuenta en el PHD y que han sido obtenidos por procesos similares a los que se utilizará en este estudio.

Resultados de demandas en la situación Plan

- Resultados de demandas por unidad de demanda agraria

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	20.55	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Canal de Payuelos	Esla-Valderaduey	272.72	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Porma	Esla-Valderaduey	36.63	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Curueño	Esla-Valderaduey	7.84	0.26	1.78	2.08	5.18	22.64	26.50	66.05	0
ZR MI Porma 1ª fase	Esla-Valderaduey	89.78	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 2ª fase	Esla-Valderaduey	61.34	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Torío	Esla-Valderaduey	11.41	1.48	5.79	11.27	27.67	50.73	98.84	242.62	25
Riegos del Bernesga	Esla-Valderaduey	54.93	0.49	6.51	12.73	12.73	11.85	23.18	23.18	0
Riegos del Esla entre Bernesga y Tera	Esla-Valderaduey	95.88	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Cabecera río Valderaduey	Esla-Valderaduey	7.36	0.32	1.61	1.91	3.90	21.85	25.90	53.04	0
Riegos del Valderaduey desde trasvase	Esla-Valderaduey	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Trasvase Cea-Carrión	Esla-Valderaduey	21.58	0.18	0.81	1.07	2.67	3.73	4.95	12.36	0
ZR Páramo Bajo	Esla-Valderaduey	182.12	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Tábara-Tierra de	Esla-	43.53	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Campos-Aliste	Valderaduey									
Riegos del Tera	Tera	133.90	0.06	1.66	1.66	1.66	1.24	1.24	1.24	0
Riegos del Luna	Órbigo	13.48	0.13	2.15	2.15	2.84	15.94	15.94	21.11	0
Riegos del Tuerto	Órbigo	30.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Riegos del Órbigo entre Omañas y Tuerto	Órbigo	90.93	0.12	3.15	3.15	3.15	3.47	3.47	3.47	0
Riegos del Órbigo entre Tuerto y Eria	Órbigo	24.67	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Órbigo entre Eria y Esla	Órbigo	23.43	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Páramo-Velilla-Villadangos	Órbigo	202.75	1.44	31.78	31.78	37.46	15.68	15.68	18.48	0
RP Ríos Omañas y Valdesamario	Órbigo	6.72	0.10	1.02	1.53	1.53	15.24	22.82	22.82	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Eria	Órbigo	12.82	0.29	1.92	2.13	4.18	15.00	16.60	32.59	0
RP Río Duerna	Órbigo	27.88	9.72	15.77	28.76	106.64	56.55	103.15	382.51	25
Riegos de la Cabecera del Cea	Esla-Valderaduey	15.60	0.17	0.95	0.95	2.14	6.12	6.12	13.71	0
Riegos del Cea entre Alto y Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	21.35	0.07	0.47	0.77	1.29	2.19	3.62	6.04	0
Riegos del Cea después Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	33.49	0.10	0.57	1.11	1.99	1.71	3.33	5.95	0
Riegos del Carrión	Carrión	100.62	0.52	11.86	11.86	11.86	11.78	11.78	11.78	0
ZR Palencia	Carrión	19.32	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR La Retención	Carrión	21.12	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Norte	Pisuerga	46.73	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Canal Castilla	Carrión	51.88	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Sur										
Riegos del Canal de Castilla Campos	Carrión	84.63	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Sequillo	Carrión	3.90	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga hasta Canal de Castilla	Pisuerga	9.79	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Camesa	Pisuerga	8.58	0.10	0.88	0.88	1.65	10.25	10.25	19.22	0
ZR Pisuerga	Pisuerga	54.21	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Ríos Valdavia y Boedo	Pisuerga	27.49	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre C.Castilla y Carrión	Pisuerga	28.22	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	7.66	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos Pisuerga desde el Carrión	Pisuerga	8.61	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanza	Arlanza	45.21	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanzón	Arlanza	18.04	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.97	6.39	13.67	20.77	72.20	65.20	99.02	344.28	25
RP Río Zapardiel	Bajo Duero	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Guareña	Bajo Duero	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero desde San José	Bajo Duero	104.32	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero hasta San José	Bajo Duero	24.84	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Duero entre Almazán y Uceró	Alto Duero	49.52	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Duero entre	Alto Duero	39.56	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Ucero y Riaza										
Riegos del Duero entre Riaza y Cega	Riaza	17.80	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Duero hasta el Rituerto	Alto Duero	14.06	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Canal de Riaza	Riaza	30.93	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Duratón	Riaza	28.26	1.02	17.04	17.14	24.51	60.32	60.65	86.76	15
Riegos Río Arandilla	Alto Duero	17.15	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Canal del Duero	Riaza	30.81	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Riaza	Riaza	7.93	0.18	4.26	4.34	4.34	53.66	54.76	54.76	5
RP Río Ucero	Alto Duero	9.16	0.43	5.44	5.44	7.02	59.38	59.38	76.63	2
ZR Guma	Alto Duero	21.29	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Cega	Adaja-Cega	6.15	0.11	1.04	1.04	1.97	16.99	16.99	32.12	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	24.26	33.25	58.78	250.21	72.22	127.68	543.46	26
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.19	6.73	9.35	16.52	68.86	76.69	135.52	564.95	26
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.69	3.37	22.01	32.04	65.76	54.09	78.74	161.63	14
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.49	32.40	49.38	82.76	329.28	75.41	126.37	502.77	26
Riegos del Águeda	Águeda	13.83	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Cabecera Río Yeltes	Águeda	1.82	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.98	4.74	22.77	32.67	72.00	45.55	65.35	144.05	8
Riegos de Santa Teresa hasta Villagonzalo	Tormes	30.29	0.04	1.03	1.03	1.03	3.39	3.39	3.39	0
Riegos de Santa Teresa desde Villagonzalo	Tormes	111.49	0.15	3.82	3.82	3.82	3.43	3.43	3.43	0
Riegos del Tormes Bajo	Tormes	15.05	0.02	0.52	0.52	0.52	3.43	3.43	3.43	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
ZR La Armuña	Tormes	64.06	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Corneja	Tormes	6.16	1.12	3.51	5.88	18.63	57.08	95.57	302.58	13
ZR Riegos Meridionales Bajo Duero	Adaja-Cega	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Riegos Meridionales Adaja-Cega	Adaja-Cega	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.48	8.63	10.75	20.25	88.58	86.08	162.25	709.62	26
Promedio:		39.66	1.40	3.82	5.58	16.50	13.32	19.81	59.60	3.15

Tabla 13. Resultados de detalle de demandas en la situación Plan.

Los resultados de esta tabla se agregan por sistemas de explotación, facilitándose con ello la identificación de variaciones respecto de otras simulaciones.

Resultados de demandas por sistema de explotación

Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Número de fallos UTAH
	Demanda anual	Déficit anual medio	Suma de déficit anual máximo	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	Suma de déficit anual máximo	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	
Adaja-Cega	170.56	66.88	115.04	191.15	716.08	67.45	112.07	419.85	92
Águeda	15.65	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0
Alto Duero	163.21	9.06	16.18	25.69	95.59	9.91	15.74	58.57	28
Arlanza	63.25	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0
Bajo Duero	130.07	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0
Carrión	281.47	0.52	11.86	11.86	11.86	4.21	4.21	4.21	0
Esla-Valderaduey	978.44	3.07	18.48	31.90	57.58	1.89	3.26	5.88	25
Órbigo	432.78	11.81	55.80	69.50	155.81	12.89	16.06	36.00	25
Pisuerga	212.26	6.49	14.55	21.64	73.85	6.86	10.20	34.79	25
Riaza	115.73	1.20	21.30	21.48	28.86	18.41	18.56	24.94	20
Tera	133.90	0.06	1.66	1.66	1.66	1.24	1.24	1.24	0
Tormes	277.03	6.06	31.65	43.92	96.01	11.43	15.85	34.66	21

Tabla 14. Resultados globales de demandas en la situación Plan.

Los principales déficits se dan en el sistema Adaja-Cega, seguido muy de lejos por Órbigo y Alto Duero. También con cierta entidad los déficits en Pisuerga y Tormes. Los déficits en las demandas del sistema Riaza no tienen mucho peso a escala de cuenca, pero sí son importantes a escala de sistema de explotación, por el poco volumen de demanda en el sistema.

En la tabla siguiente se muestran las demandas peor abastecidas, las que no cumplen el criterio de garantía tipo UTAH especificados en la IPH.

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm ³)	Déficit anual medio (hm ³)	Garantía volumétrica	Fallos UTA H criterio IPH	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consecutivos	Déficit máximo 10 años consecutivos
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.48	8.63	30.87%	26	86.08%	162.25%	709.62%
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.19	6.73	44.78%	26	76.69%	135.52%	564.95%
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	24.26	47.30%	26	72.22%	127.68%	543.46%
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.49	32.40	50.53%	26	75.41%	126.37%	502.77%
RP Río Duerna	Órbigo	27.88	9.72	65.14%	25	56.55%	103.15%	382.51%
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.97	6.39	69.51%	25	65.20%	99.02%	344.28%
RP Río Corneja	Tormes	6.16	1.12	81.85%	13	57.08%	95.57%	302.58%
RP Río Torío	Esla-Valderaduey	11.41	1.48	86.99%	25	50.73%	98.84%	242.62%
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.98	4.74	90.52%	8	45.55%	65.35%	144.05%
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.69	3.37	91.71%	14	54.09%	78.74%	161.63%
RP Río Ucero	Alto Duero	9.16	0.43	95.25%	2	59.38%	59.38%	76.63%
Riegos del Duratón	Riaza	28.26	1.02	96.38%	15	60.32%	60.65%	86.76%
RP Río Riaza	Riaza	7.93	0.18	97.75%	5	53.66%	54.76%	54.76%

Tabla 15. Unidades de demanda agraria que no cumplen el criterio de garantía de la IPH en la situación Plan

Resultados de producción en la situación Plan

La producción media anual de energía hidroeléctrica en centrales (GW·h/año) es interesante por su importancia económica. Éste valor también se agrega por sistemas de explotación, con lo que se pasa de 43 valores, uno por central, a 12, uno por sistema.

La producción anual media total de las centrales hidroeléctricas de la cuenca en el escenario previsto para el 2015 es de 7377,2 GW·h.

En la figura 36 se observa que se debe prestar una atención especial a la evolución de la producción en las centrales Villarino, Saucelle y Aldeadávila. En un segundo orden de importancia se encuentran las centrales de Castro, Villalcampo y Ricobayo I y II.

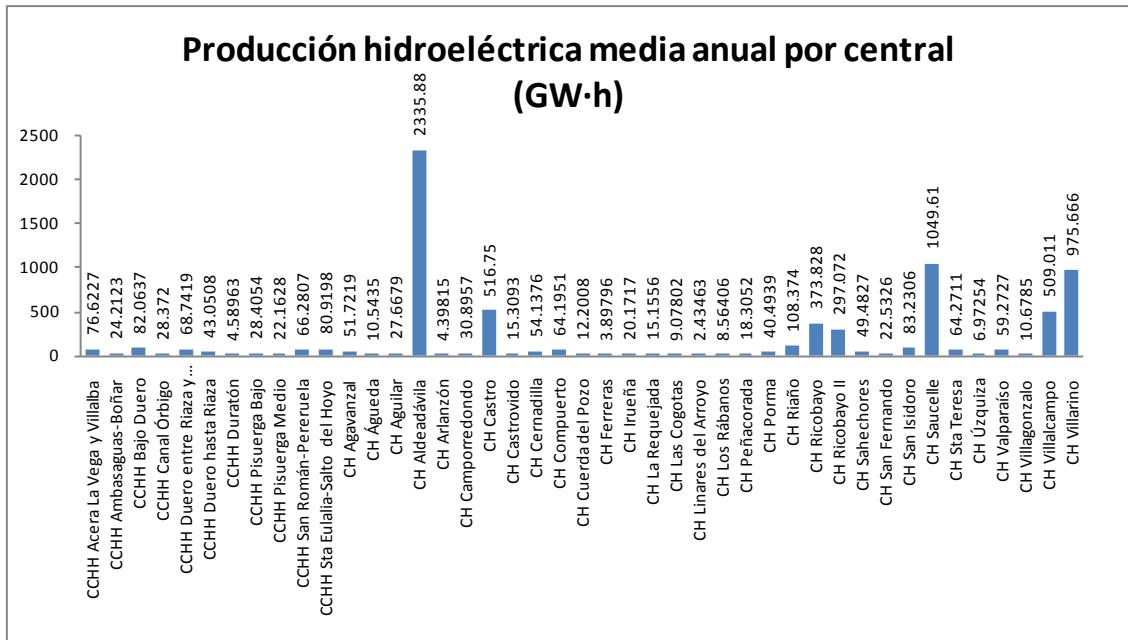


Figura 39. Producción de energía hidroeléctrica por centrales en la situación Plan.

La producción media por sistemas de explotación es la siguiente:

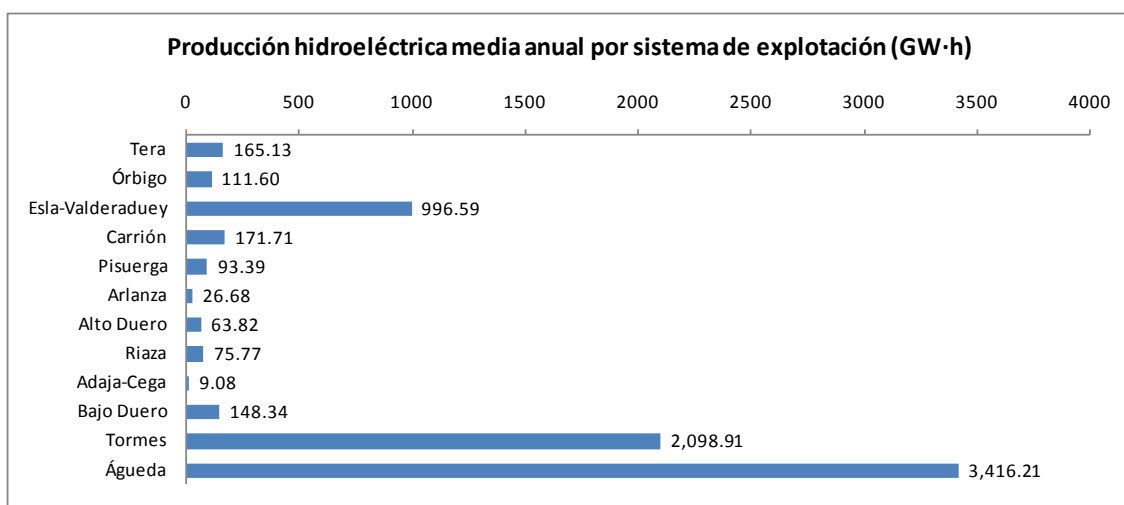


Figura 40. Producción de energía hidroeléctrica por sistemas en la situación Plan.

Solamente es relevante la producción en el tramo internacional del Duero, los sistemas Águeda y Tormes. También tiene cierta importancia la producción en el sistema Esla-Valderaduey, sobre todo debido a la producción de las centrales Ricobayo I y II, justo aguas arriba de la confluencia del Esla con el Duero.

Resultados de hábitat en la situación Plan

Series de hábitat globales

- Acumulación por promedio de porcentaje ponderada

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Barbo	100	0	75.907	294.546
Trucha	100	0	72.03	280.451
Boga Duero	100	0	88.459	346.046
Bermejuela	100	0	84.395	331.735
Bordallo	100	0	72.857	283.513
Boga de río	100	0	76.871	304.993
Anguila	100	0	96.325	381.183
Promedio	100.00	0.000	80.978	317.495

Tabla 16. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Los resultados de hábitat de la series de hábitat por especies con la acumulación por promedio de porcentaje ponderada son excelentes, destacando la anguila.

Serie de hábitat	Sistema	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Adaja en Arévalo	Adaja-Cega	100	0	86.311	332.092
Águeda en Castillejo Martín Viejo	Águeda	100	0	90.898	360.124
Arlanza en Quintana del Puente	Arlanza	100	0	92.973	369.499
Arlanzón en Villasur de Herreros	Arlanza	100	0	81.85	324.376
Carrión en Palencia	Carrión	99.36	1	81.283	283.13
Duero después del río Rianza	Rianza	100	0	93.518	362.782
Duero en Aldeadávila	Águeda	100	0	93.564	369.186
Duero en Garray	Alto Duero	100	0	95.984	382.749
Duero en Peñafiel	Rianza	95.83	3	65.658	234.946
Duero en Toro	Bajo Duero	100	0	75.215	292.37
Duratón aguas abajo de Las Vencías	Rianza	100	0	86.65	345.515
Eresma en Segovia	Adaja-Cega	79.17	6	33.139	33.139
Esgueva en Villanueva de los Infantes	Pisuerga	72.44	6	0	0
Esla en Bretó	Esla-Valderaduey	100	0	96.284	381.707
Esla en Villalcampo	Esla-Valderaduey	100	0	89.72	351.533
Esla en Villomar	Esla-Valderaduey	94.23	2	59.225	172.321
Guareña en Toro	Bajo Duero	95.83	3	63.855	203.861
Huebra en Puente Resbala	Águeda	100	0	96.26	368.629

Serie de hábitat	Sistema	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Órbigo en Cebrones	Órbigo	100	0	73.662	290.964
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Pisuerga	100	0	73.342	290.32
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	100	0	84.682	333.506
Porma en Secos de Porma	Esla-Valderaduey	100	0	84.98	334.024
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Riaza	100	0	78.808	305.597
Rituerto en Sauquillo de Boñices	Alto Duero	99.04	3	84.238	324.565
Tera en Mozar de Valverde	Tera	100	0	73.808	286.543
Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes	100	0	55.825	222.426
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Tormes	100	0	83.424	331.647
Tormes en Contienza	Tormes	100	0	74.187	296.168
Tuerto antes de Duerna	Órbigo	100	0	57.33	223.345
Valderaduey en Santervás de Campos	Esla-Valderaduey	100	0	83.235	332.94
Voltoya en Coca	Adaja-Cega	95.51	2	70.661	234.561
Zapardiel antes del Duero	Bajo Duero	100	0	76.863	305.609
	Promedio	97.86	0.813	76.170	290.005

Tabla 17. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Se puede considerar que en la situación Plan, simulación correspondiente al escenario previsto en 2015 por el Plan Hidrológico del Duero, el resultado de hábitat medio es satisfactorio en los tramos de estudio, por norma general. Solamente se presentan resultados más discretos en los tramos Esgueva en Villanueva de los Infantes y Eresma en Segovia. Siguen siendo más que aceptables los resultados de hábitat en Tormes aguas abajo de la Almendra, Tuerto antes del

Duerna y Esla en Villomar, aunque con resultados del percentil 80 más modestos que el resto de series.

- Acumulación por mínimos

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Barbo	0	312	0	0
Trucha	0.32	258	0	0
Boga Duero	64.42	7	0	0
Bermejuela	8.65	50	0	0
Bordallo	0.32	308	0	0
Boga de río	100	0	63.86	251.95
Anguila	100	0	96.33	381.18
Promedio	39.10	133.57	22.88	90.45

Tabla 18. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Serie de hábitat	Sistema	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Adaja en Arévalo	Adaja-Cega	89.423	2	53.764	167.721
Águeda en Castillejo Martín Viejo	Águeda	99.359	1	62.834	237.834
Arlanza en Quintana del Puente	Arlanza	100	0	82.126	318.974
Arlanzón en Villasur de Herreros	Arlanza	75.321	4	34.548	127.806
Carrión en Palencia	Carrión	69.55	5	29.077	80.033
Duero después del río Riaza	Riaza	98.718	1	84.534	301.508
Duero en Aldeadávila	Águeda	100	0	77.985	310.251
Duero en Garray	Alto Duero	100	0	84.107	332.619
Duero en Peñafiel	Riaza	18.27	32	30.702	95.692

Serie de hábitat	Sistema	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Duero en Toro	Bajo Duero	58.654	19	33.189	126.445
Duratón aguas abajo de Las Vencías	Riaza	100	0	62.356	247.586
Eresma en Segovia	Adaja-Cega	57.05	7	10.088	10.088
Esgueva en Villanueva de los Infantes	Pisuerga	62.50	8	0	0
Esla en Bretó	Esla-Valderaduey	100	0	89.3	342.704
Esla en Villalcampo	Esla-Valderaduey	100	0	85.561	330.067
Esla en Villomar	Esla-Valderaduey	57.69	7	23.46	50.9
Guareña en Toro	Bajo Duero	76.28	8	33.32	77.78
Huebra en Puente Resbala	Águeda	96.474	4	83.031	273.827
Órbigo en Cebrones	Órbigo	75.321	5	38.516	140.394
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Pisuerga	40.385	10	22.403	71.77
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	88.782	4	49.706	176.168
Porma en Secos de Porma	Esla-Valderaduey	55.769	7	17.623	53.919
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Riaza	70.192	5	36.093	124.781
Rituerto en Sauquillo de Boñices	Alto Duero	96.15	6	59.776	216.39
Tera en Mozar de Valverde	Tera	74.679	5	33.548	113.781
Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes	0	312	30.453	121.175
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Tormes	100	0	59.768	235.047

Serie de hábitat	Sistema	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Tormes en Contiensa	Tormes	93.910	1	40.847	161.556
Tuerto antes de Duerna	Órbigo	5.449	57	5.438	20.15
Valderaduey en Santervás de Campos	Esla-Valderaduey	8.974	58	35.337	141.348
Voltoya en Coca	Adaja-Cega	77.24	5	36.13	94.774
Zapardiel antes del Duero	Bajo Duero	100	0	61.88	243.446
	Promedio	73.32	17.906	46.484	167.079

Tabla 19. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Los resultados de las series acumuladas por mínimos son muy negativos, pues esta acumulación elige, para cada mes de la serie, el resultado de hábitat más bajo de entre los resultados para ese mes de las series que se acumulan. Con esto no es de extrañar que aparezcan series con resiliencia 312, es decir, todos los resultados de hábitat de la serie son inferiores a 40%. De estos resultados se puede extraer qué series son extremadamente buenas: la boga de río y la anguila en especies, y Arlanza en Quintana del Puente, Duero en Aldeadávila, Duero en Garray, Duratón aguas abajo de Las Vencías, Esla en Bretó, Esla en Villalcampo, Huebra en Puente Resbala, Tormes aguas abajo de Villagonzalo, Zapardiel antes del Duero, Águeda en Castillejo Martín Viejo y Duero después del río Riaza, en series de hábitat por masa.

Peores resultados tienen resto de series por especies, destacando las de Tormes aguas abajo de la Almendra, Tuerto antes del Duerna, pues son series que resultan de acumular un elevado número de series no acumuladas.

Series de hábitat de detalle

En cada simulación se generan 284 series de hábitat no acumuladas y 125 series de hábitat acumuladas por etapas (series de hábitat por masa y especie). Se usará el método de acumulación por promedio de porcentaje ponderada.

Mostrar los resultados de hábitat de las series de detalle (409 series) para cada simulación no resulta práctico. Se concluye presentar solamente las series de hábitat de detalle cuyos índices no alcanzan los valores especificados en el criterio de garantía para las series de hábitat.

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Adaja en Arévalo/Barbo/Alevín	82.31	2	41.33	119.89
Arlanzón en Villasur de Herreros/Barbo/Alevín	59.23	2	29.98	119.90

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Arlanzón en Villasur de Herreros/Trucha/Freza	85.58	2	57.33	157.70
Carrión en Palencia/Barbo/Alevín	76.92	2	36.15	122.92
Carrión en Palencia/Trucha	89.74	4	52.83	164.63
Carrión en Palencia/Trucha/Alevín	78.85	3	35.18	131.93
Carrión en Palencia/Trucha/Freza	68.27	4	11.80	26.66
Duero en Peñafiel/Barbo/Adulto	87.18	6	77.77	160.54
Duero en Peñafiel/Barbo/Alevín	19.23	5	31.37	124.56
Duero en Peñafiel/Bermejuela	47.76	11	32.36	127.69
Duero en Peñafiel/Boga Duero	93.59	5	94.00	286.34
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Adulto	94.23	4	94.95	301.23
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Alevín	83.08	5	70.41	138.41
Duero en Peñafiel/Bordallo	94.55	4	95.22	304.96
Duero en Peñafiel/Bordallo/Adulto	94.23	4	93.55	295.17
Duero en Peñafiel/Bordallo/Alevín	86.92	4	93.64	218.33
Duero en Peñafiel/Trucha	61.22	8	33.17	131.26
Duero en Peñafiel/Trucha/Adulto	47.12	11	33.20	132.54
Duero en Peñafiel/Trucha/Juvenil	21.79	6	30.70	122.08
Duero en Toro/Barbo/Adulto	98.08	4	86.36	301.05
Duero en Toro/Barbo/Alevín	53.85	5	34.73	116.88
Duero en Toro/Bermejuela	76.60	7	35.99	135.56
Eresma en Segovia/Barbo	60.26	7	24.11	24.11
Eresma en Segovia/Barbo/Adulto	60.58	7	28.84	28.84
Eresma en Segovia/Barbo/Alevín	43.08	4	0	0
Eresma en Segovia/Barbo/Juvenil	72.53	5	36.64	61.08

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Eresma en Segovia/Bermejuela	82.37	6	53.07	53.07
Eresma en Segovia/Trucha	58.01	7	19.62	19.62
Eresma en Segovia/Trucha/Adulto	60.58	7	22.25	22.25
Eresma en Segovia/Trucha/Freza	68.27	4	10.09	20.18
Eresma en Segovia/Trucha/Juvenil	68.59	3	26.59	64.55
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo	68.27	8	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Adulto	64.10	8	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Alevín	33.85	5	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bermejuela	69.87	7	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Boga Duero	74.04	6	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Adulto	73.40	6	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Alevín	40	5	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo	74.04	6	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Adulto	74.04	6	0	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Alevín	34.62	5	0	0
Esla en Villomar/Barbo/Adulto	77.56	4	35.79	70.83
Esla en Villomar/Barbo/Alevín	82.31	2	43.54	77.16
Esla en Villomar/BogaDuero/Alevín	83.08	2	42.99	70.78
Esla en Villomar/Bordallo	76.92	6	32.22	79.15

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Esla en Villomar/Bordallo/Adulto	76.28	6	31.68	78.61
Esla en Villomar/Bordallo/Alevín	86.92	1	81.85	149.41
Esla en Villomar/Trucha	81.41	6	42.89	110.43
Esla en Villomar/Trucha/Alevín	62.5	3	26.43	105.72
Esla en Villomar/Trucha/Freza	76.92	4	29.21	82.02
Esla en Villomar/Trucha/Juvenil	70.51	2	24.31	48.63
Guareña en Toro/Barbo	84.29	6	45.73	128.48
Guareña en Toro/Barbo/Adulto	76.28	8	33.32	77.78
Guareña en Toro/Barbo/Juvenil	86.81	6	44.08	124.14
Guareña en Toro/Bermejuela	95.83	3	69.93	238.43
Guareña en Toro/Boga Duero	95.19	3	73.98	233.46
Huebra en Puente Resbala/Barbo/Adulto	96.47	4	100	309.09
Órbigo en Cebrones/Barbo/Adulto	91.99	3	72.70	203.10
Órbigo en Cebrones/Trucha/Alevín	67.31	3	36.25	145.00
Órbigo en Cebrones/Trucha/Juvenil	76.92	4	39.27	148.69
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Barbo/Alevín	21.54	4	23.64	94.17
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha	91.99	4	45.04	157.68
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Alevín	25.96	4	18.90	68.00
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Freza	60.58	4	16.55	35.94
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Juvenil	43.59	5	23.24	91.34
Pisuerga entre Arlanza y Carrión/Barbo/Alevín	73.08	4	38.38	153.51
Porma en Secos de Porma/Barbo/Alevín	86.92	2	46.67	153.87

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Porma en Secos de Porma/Trucha	88.14	4	45.69	158.40
Porma en Secos de Porma/Trucha/Alevín	75	3	38.84	154.41
Porma en Secos de Porma/Trucha/Freza	0	4	9.56	37.02
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Adulto	87.5	4	55.20	172.72
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Alevín	79.23	3	39.17	141.93
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Alevín	78.85	3	38.25	137.48
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Freza	89.42	3	59.65	165.36
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo	96.79	5	86.17	278.69
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Adulto	96.15	6	89.26	257.35
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Alevín	94.62	4	77.20	256.56
Tera en Mozar de Valverde/Barbo/Alevín	84.62	2	52.97	145.39
Tera en Mozar de Valverde/Trucha/Alevín	36.54	4	25.69	102.77
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo	50	6	34.68	138.05
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Adulto	0	312	30.45	121.18
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Juvenil	42.86	4	38.92	154.20
Tormes en Contienza/Barbo/Alevín	85.38	1	40.85	157.89
Tuerto antes de Duerna/Barbo/Adulto	94.55	3	80.43	274.22
Tuerto antes de Duerna/Bordallo	24.36	22	6.00	20.72
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Adulto	10.90	24	5.71	20.43
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Alevín	76.15	5	32.82	100.69

Serie de hábitat	Garantía (%)	Resiliencia	Percentil 80 (%)	Acumulado (%)
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Alevín	50.96	4	20.57	82.28
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Freza	39.42	4	7.64	30.54
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo	41.67	7	35.34	141.35
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo/Adulto	8.97	58	35.34	141.35
Voltoya en Coca/Barbo	87.82	5	54.36	150.48
Voltoya en Coca/Barbo/Adulto	79.17	5	38.63	99.35
Voltoya en Coca/Barbo/Alevín	80.77	3	41.27	121.35

Tabla 20. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Plan.

En la situación Plan hay 94 series de hábitat de detalle que no cumplen el criterio de garantía.

No se puede afirmar que la situación de la serie de Barbo alevín en Esgueva en Villanueva de los infantés que tiene un valor del 0% para el percentil 80 sea peor que la serie del Bordallo adulto en el río Tuerto antes del Duerna, que tiene una resiliencia de 24 meses consecutivos con hábitat inferior al 40%. Si con el límite de hábitat del 40% se ha fijado un criterio de fallo mensual para el hábitat, con la limitación simultánea a garantías superiores al 80%, resiliencia menor de tres, percentil 80 superior al 50% y acumulado de más de 160% se fija un criterio de fallo para toda la serie de hábitat. Ambos criterios pueden modificarse más adelante o en trabajos posteriores, pues su utilidad para diferenciar entre un estado de hábitat válido y un estado de hábitat inaceptable será contrastada por la experiencia que en este momento del estudio no se tiene.

Resumen de resultados en la situación Plan.

- Abastecimiento a la demanda agraria.

La demanda agraria de la parte española de la cuenca del Duero se concentra sobre todo en el sistema Esla-Valderaduey. Junto con la demanda agraria de los sistemas Órbigo, Carrión y Tormes, representan casi 2/3 de la demanda agraria total del sistema.

El sistema peor abastecido es, con mucha diferencia, el Adaja-Cega. Le siguen los sistemas Órbigo, y Alto Duero. También tienen cierta entidad los déficits en el abastecimiento a las demandas agrarias de los sistemas Tormes y Pisuegra. El sistema Rianza también tiene déficits reseñables, aunque por el escaso volumen de demanda no tiene peso a nivel de cuenca.

En la situación Plan, el abastecimiento a las demandas de los sistemas Águeda, Arlanza y Bajo Duero es perfecto, sin déficits, en la simulación situación Plan.

- Producción de energía hidroeléctrica.

En la situación Plan, la producción media anual total de las centrales hidroeléctricas de la cuenca es de 7377.2 GW·h/año. La mayor parte de esta energía se produce en las centrales que se encuentran en el tramo internacional del río Duero. La producción de las centrales Ricobayo I y II, en la confluencia del Esla con el Duero, tiene también un peso importante.

- **Resultados de hábitat en tramos.**

En general, el hábitat por tramos es satisfactorio. Los resultados de hábitat más bajos se dan en los tramos Esgueva en Villanueva de los Infantes (Pisuerga) y Eresma en Segovia (Adaja-Cega). Siguen siendo más que aceptables los resultados de hábitat en Tormes aguas abajo de la Almendra (Tormes), Tuerto antes del Duerna (Órbigo) y Esla en Villomar (Esla-Valderaduey), aunque con resultados del percentil 80 más modestos que el resto de series.

Los tramos con resultados de hábitat más bajos no se concentran en ninguna zona en concreto.

Es excelente el hábitat en los tramos Águeda en Castillejo Martín Viejo (Águeda), Arlanza en Quintana del Puente (Arlanza), Duero después del río Riaza (Riaza), Duero en Aldeadávila (Águeda), Duero en Garray (Alto Duero), Duratón aguas abajo de Las Vencías (Riaza), Esla en Bretó (Esla-Valderaduey), Esla en Villalcampo (Esla-Valderaduey), Huebra en Puente Resbala (Águeda), Tormes aguas abajo de Villagonzalo (Tormes) y Zapardiel antes del Duero (Bajo Duero).

Estos tramos de río con hábitat excelente no guardan ningún patrón. Ni se concentran en determinados sistemas de explotación, ni se trata principalmente de tramos de cabecera, tramos medios o tramos bajos.

- **Resultados de hábitat por especie.**

Por especie, los resultados de hábitat son excelentes. Las series de hábitat por especie excepto la de la Anguila y la de la Boga de Río tienen un grado de acumulación elevado. Por tanto, este resultado no implica que no puedan existir series de hábitat no acumuladas o acumuladas por etapas (hábitat por tramo y especie) con resultados de hábitat más discretos.

- **Resultados de hábitat de detalle.**

Analizando las series acumuladas por etapas y las no acumuladas, las series de hábitat de detalle (en total 409 series de hábitat), se cuentan 94 series que según el criterio de garantía especificado anteriormente, no serían satisfactorias. Éstas se concentran en los tramos con resultados de hábitat más bajos, como no podía ser de otra manera.

4.3.3. Descripción de la situación base

Se procede en este apartado al análisis de los resultados de déficits a demandas, de producción de energía hidroeléctrica y de producción de hábitat potencial útil, que se generan en la situación Base.

En el apartado anterior se denominaba situación Plan al escenario que el PHD prevé para el sistema de recursos hídricos de la parte española de la Cuenca del Duero en el año 2015. Esta previsión incluye las mejoras en las eficiencias de uso, nuevas demandas, nuevas infraestructuras, imposición de caudales ecológicos de explotación, etc. El comportamiento de

este sistema se simula con un modelo de SIMGES, en el periodo 1980-2006. Para ello se utiliza una serie de aportaciones obtenida mediante un modelo SIMPA.

De la misma manera se denomina situación Base al escenario que se produciría en el sistema de recursos hídricos de la parte española de la cuenca del Duero al cambiar, en el escenario previsto en el PHD para el año 2015, la imposición caudales ecológicos de explotación (los caudales ecológicos de la versión de 1998 del Plan Hidrológico del Duero, junto con algunas propuestas por parte de los técnicos de la CHD pertenecientes al proceso de desarrollo del PHD actual) por la de los regímenes de caudal ecológico mínimo inferiores del rango de los 32 tramos. El comportamiento del sistema en este nuevo escenario se evalúa mediante el mismo modelo de SIMGES y con la misma serie de aportaciones.

Se puede decir que la situación Base representa la solución de mínimos de este estudio, pues los caudales ecológicos que impone corresponden con la imposición legal de caudales ecológicos.

Resultados de demandas en la Situación Base

- Resultados de demandas por unidad de demanda agraria

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	20.55	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Canal de Payuelos	Esla-Valderaduey	272.72	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Porma	Esla-Valderaduey	36.63	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Curueño	Esla-Valderaduey	7.84	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 1ª fase	Esla-Valderaduey	89.78	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 2ª fase	Esla-Valderaduey	61.34	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Torío	Esla-	11.41	0.41	2.89	5.76	5.76	25.32	50.53	50.53	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
	Valderaduey									
Riegos del Bernesga	Esla-Valderaduey	54.93	0.44	5.72	11.36	11.36	10.41	20.69	20.69	0
Riegos del Esla entre Bernesga y Tera	Esla-Valderaduey	95.88	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Cabecera río Valderaduey	Esla-Valderaduey	7.36	0.32	1.61	1.91	3.90	21.85	25.90	53.04	0
Riegos del Valderaduey desde trasvase	Esla-Valderaduey	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Trasvase Cea-Carrión	Esla-Valderaduey	21.58	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Páramo Bajo	Esla-Valderaduey	182.12	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Tábara-Tierra de Campos-Aliste	Esla-Valderaduey	43.53	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Tera	Tera	133.90	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Luna	Órbigo	13.48	0.13	2.15	2.15	2.73	15.94	15.94	20.27	0
Riegos del Tuerto	Órbigo	30.11	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Órbigo entre Omañas y Tuerto	Órbigo	90.93	0.11	2.96	2.96	2.96	3.25	3.25	3.25	0
Riegos del Órbigo entre Tuerto y Eria	Órbigo	24.67	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Órbigo entre Eria y Esla	Órbigo	23.43	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Páramo-Velilla-Villadangos	Órbigo	202.75	0.98	20.48	20.48	25.39	10.10	10.10	12.52	0
RP Ríos Omañas y Valdesamario	Órbigo	6.72	0.03	0.51	0.51	0.51	7.64	7.66	7.66	0
RP Río Eria	Órbigo	12.82	0.10	0.99	0.99	1.58	7.69	7.69	12.33	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Duerna	Órbigo	27.88	9.72	15.77	28.76	106.64	56.55	103.15	382.51	25
Riegos de la Cabecera del Cea	Esla-Valderaduey	15.60	0.12	0.84	0.84	1.89	5.40	5.40	12.12	0
Riegos del Cea entre Alto y Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	21.35	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Cea después Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	33.49	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Carrión	Carrión	100.62	0.31	4.27	4.27	4.27	4.25	4.25	4.25	0
ZR Palencia	Carrión	19.32	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR La Retención	Carrión	21.12	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Norte	Pisuerga	46.73	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Canal Castilla Sur	Carrión	51.88	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla	Carrión	84.63	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Campos										
Riegos Río Sequillo	Carrión	3.90	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga hasta Canal de Castilla	Pisuerga	9.79	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Camesa	Pisuerga	8.58	0.10	0.88	0.88	1.65	10.25	10.25	19.22	0
ZR Pisuerga	Pisuerga	54.21	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Ríos Valdavia y Boedo	Pisuerga	27.49	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre C.Castilla y Carrión	Pisuerga	28.22	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	7.66	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga desde el Carrión	Pisuerga	8.61	0	0	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Arlanza	Arlanza	45.21	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanzón	Arlanza	18.04	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.97	9.39	19.40	29.11	104.38	92.51	138.83	497.74	26
RP Río Zapardiel	Bajo Duero	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Río Guareña	Bajo Duero	0.75	0.04	0.19	0.24	0.46	25.80	31.25	61.17	0
Riegos del Bajo Duero desde San José	Bajo Duero	104.32	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero hasta San José	Bajo Duero	24.84	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos del Duero entre Almazán y Ucero	Alto Duero	49.52	0.76	16.26	16.26	19.87	32.84	32.84	40.12	0
Riegos del Duero entre Ucero y Riaza	Alto Duero	39.56	0.51	10.74	10.74	13.20	27.15	27.15	33.37	0
Riegos del Duero entre	Riaza	17.80	0.06	0.79	0.79	1.58	4.45	4.45	8.90	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riaza y Cega										
Riegos del Duero hasta el Rituerto	Alto Duero	14.06	0.23	4.23	4.23	5.97	30.11	30.11	42.47	0
ZR Canal de Riaza	Riaza	30.93	0.29	5.86	5.86	7.53	18.94	18.94	24.35	0
Riegos del Duratón	Riaza	28.26	0.84	9.17	9.17	11.41	32.45	32.45	40.38	0
Riegos Río Arandilla	Alto Duero	17.15	0.07	0.88	0.88	1.75	5.11	5.11	10.23	0
RP Canal del Duero	Riaza	30.81	0.09	1.14	1.14	2.28	3.70	3.70	7.41	0
RP Río Riaza	Riaza	7.93	0.49	4.26	4.34	8.39	53.66	54.76	105.80	15
RP Río Uceró	Alto Duero	9.16	0.13	2.47	2.47	3.45	27.01	27.01	37.70	0
ZR Guma	Alto Duero	21.29	0.25	5.43	5.43	6.58	25.49	25.49	30.90	0
Riegos del Cega	Adaja-Cega	6.15	0.11	1.05	1.05	1.98	17.04	17.04	32.20	0
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	24.27	33.28	58.82	250.21	72.30	127.75	543.46	26

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.19	6.58	9.06	16.26	67.30	74.30	133.43	552.18	26
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.69	1.56	14.40	17.41	32.03	35.38	42.80	78.71	0
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.49	31.27	47.13	79.64	316.92	71.96	121.60	483.89	26
Riegos del Águeda	Águeda	13.83	0	0	0	0	0	0	0	0
RP Cabecera Río Yeltes	Águeda	1.82	0.03	0.88	0.88	0.88	48.52	48.52	48.52	0
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.98	4.92	25.89	35.78	75.12	51.79	71.59	150.29	8
Riegos de Santa Teresa hasta Villagonzalo	Tormes	30.29	0.32	7.29	7.29	7.29	24.07	24.07	24.07	0
Riegos de Santa Teresa desde Villagonzalo	Tormes	111.49	0.92	20.19	20.19	20.19	18.11	18.11	18.11	0
Riegos del Tormes Bajo	Tormes	15.05	0.04	0.52	0.52	0.52	3.43	3.43	3.43	0
ZR La Armuña	Tormes	64.06	0.39	8.00	8.00	8.00	12.49	12.49	12.49	0

Demanda agraria	Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
		Demanda anual	Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Corneja	Tormes	6.16	1.13	3.74	6.11	18.86	60.72	99.20	306.22	13
ZR Riegos Meridionales Bajo Duero	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZR Riegos Meridionales Adaja-Cega	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.48	8.64	10.90	20.25	88.58	87.32	162.25	709.62	26
Promedio:		39.66	1.41	4.30	5.92	16.58	15.14	21.06	60.03	2.55

Tabla 21. Resultados de detalle de demandas en la situación Base.

Se pasa de 43 unidades de demanda agraria sin déficit, en la situación Plan, a 37 en la situación Base. Sin embargo, el incremento en los déficits en la situación Base respecto de la situación Plan no es importante en valores medios, como se puede observar en la siguiente tabla.

	hm ³					% sobre D. Anual			Fallos UTAH
	Demanda anual	Déficit anual promedio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Promedio situación Plan	39.66	1.40	3.82	5.58	16.50	13.32	19.81	59.60	3.15
Promedio situación Base	39.66	1.41	4.30	5.92	16.58	15.14	21.06	60.03	2.55

Tabla 22. Promedios de índices de demandas en la situación Base. Comparación con la situación Plan.

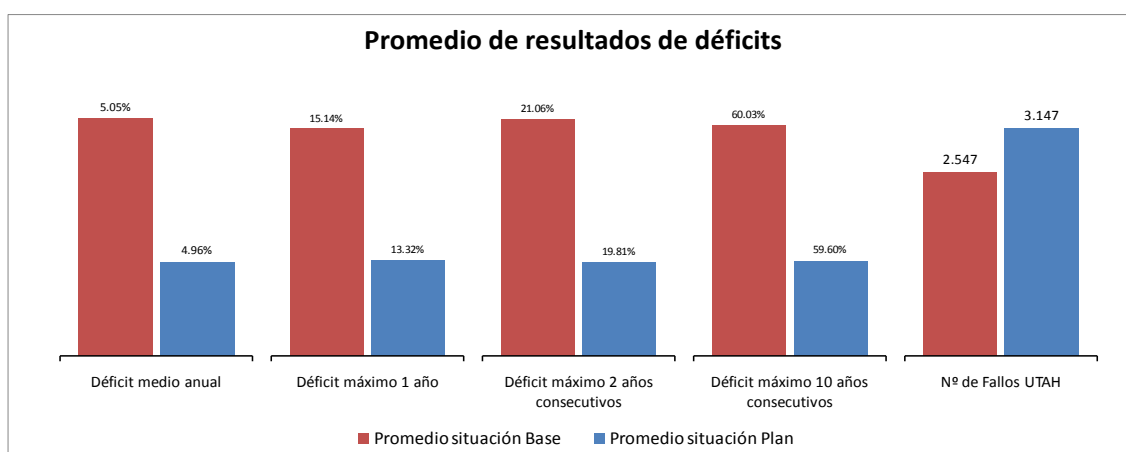


Figura 41. Promedios de índices de demandas en la situación Base. Comparación con la situación Plan.

Además, en la situación Base se reduce el número de fallos de abastecimiento a demandas agrarias, lo cual implica que se reduce el número de situaciones de abastecimiento inaceptables.

A continuación se analizan los incrementos en los déficits en porcentaje sobre la demanda anual y en el número de fallos en los criterios de garantía, que aparecen en cada unidad de demanda agraria entre la situación Base y la Plan. Aplicando el criterio de variación significativa de resultados de demanda, se resaltan con fondo rosa los empeoramientos respecto de la situación Plan y en verde las mejoras.

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
RP Río Torío	Esla-Valderaduey	11.406	-25	-9.450	-25.408	-48.308	-192.083
RP Río Ucero	Alto Duero	9.156	-2	-3.298	-32.372	-32.372	-38.925
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.689	-14	-4.462	-18.710	-35.939	-82.916
RP Río Curueño	Esla-Valderaduey	7.839	0	-3.288	-22.643	-26.496	-66.054
Riegos del Duratón	Riaza	28.256	-15	-0.639	-27.867	-28.196	-46.380
RP Ríos Omañas y Valdesamario	Órbigo	6.719	0	-1.046	-7.605	-15.151	-15.151
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.971	1	14.285	27.314	39.812	153.455
RP Río Guareña	Bajo Duero	0.752	0	5.069	25.798	31.250	61.170
Riegos del Duero entre Almazán y Ucero	Alto Duero	49.52	0	1.543	32.839	32.839	40.121
Riegos del Duero entre Ucero y Riaza	Alto Duero	39.557	0	1.284	27.151	27.151	33.372
Riegos del Duero hasta el	Alto Duero	14.063	0	1.63	30.10	30.10	42.46

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Rituerto				3	7	7	6
RP Río Riaza	Riaza	7.931	10	3.923	0	0	51.040
ZR Guma	Alto Duero	21.285	0	1.189	25.492	25.492	30.904
RP Cabecera Río Yeltes	Águeda	1.824	0	1.866	48.520	48.520	48.520
ZR Canal de Riaza	Riaza	30.931	0	0.937	18.942	18.942	24.351
Riegos de Santa Teresa hasta Villagonzalo	Tormes	30.288	0	0.926	20.672	20.672	20.672
Riegos de Santa Teresa desde Villagonzalo	Tormes	111.485	0	0.697	14.680	14.680	14.680
ZR La Armuña	Tormes	64.062	0	0.605	12.486	12.486	12.486
Riegos del Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	20.546	0	0	0	0	0
ZR Canal de Payuelos	Esla-Valderaduey	272.717	0	0	0	0	0
Riegos del Porma	Esla-Valderaduey	36.627	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 1ª fase	Esla-Valderaduey	89.775	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 2ª fase	Esla-Valderaduey	61.34	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Riegos del Bernesga	Esla-Valderaduey	54.934	0	-0.096	-1.444	-2.494	-2.494
Riegos del Esla entre Bernesga y Tera	Esla-Valderaduey	95.879	0	0	0	0	0
RP Cabecera río Valderaduey	Esla-Valderaduey	7.359	0	0	0	0	0
Riegos del Valderaduey desde trasvase	Esla-Valderaduey	2.355	0	0	0	0	0
ZR Trasvase Cea-Carrión	Esla-Valderaduey	21.582	0	-0.853	-3.735	-4.953	-12.358
ZR Páramo Bajo	Esla-Valderaduey	182.118	0	0	0	0	0
ZR Tábara-Tierra de Campos-Aliste	Esla-Valderaduey	43.529	0	0	0	0	0
Riegos del Tera	Tera	133.895	0	-0.048	-1.241	-1.241	-1.241
Riegos del Luna	Órbigo	13.48	0	-0.032	0	0	-0.831
Riegos del Tuerto	Órbigo	30.108	0	0	0	0	0
Riegos del Órbigo entre Omañas y Tuerto	Órbigo	90.93	0	-0.008	-0.217	-0.217	-0.217

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual promedio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Riegos del Órbigo entre Tuerto y Eria	Órbigo	24.668	0	0	0	0	0
Riegos del Órbigo entre Eria y Esla	Órbigo	23.426	0	0	0	0	0
ZR Páramo-Velilla-Villadangos	Órbigo	202.753	0	-0.229	-5.576	-5.576	-5.957
RP Río Eria	Órbigo	12.816	0	-1.517	-7.303	-8.911	-20.264
RP Río Duerna	Órbigo	27.878	0	0	0	0	0
Riegos de la Cabecera del Cea	Esla-Valderaduey	15.598	0	-0.342	-0.718	-0.718	-1.596
Riegos del Cea entre Alto y Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	21.35	0	-0.305	-2.192	-3.621	-6.042
Riegos del Cea después Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	33.488	0	-0.286	-1.705	-3.330	-5.948
Riegos del Carrión	Carrión	100.622	0	-0.210	-7.535	-7.535	-7.535
ZR Palencia	Carrión	19.319	0	0	0	0	0
ZR La Retención	Carrión	21.116	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla	Pisuerga	46.733	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Norte							
Riegos del Canal Castilla Sur	Carrión	51.882	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Campos	Carrión	84.627	0	0	0	0	0
Riegos Río Sequillo	Carrión	3.903	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga hasta Canal de Castilla	Pisuerga	9.791	0	0	0	0	0
Riegos del Camesa	Pisuerga	8.578	0	0	0	0	0
ZR Pisuerga	Pisuerga	54.211	0	0	0	0	0
Riegos Ríos Valdavia y Boedo	Pisuerga	27.49	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre C.Castilla y Carrión	Pisuerga	28.219	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	7.656	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga desde el Carrión	Pisuerga	8.609	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanza	Arlanza	45.206	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanzón	Arlanza	18.043	0	0	0	0	0
RP Río Zapardiel	Bajo Duero	0.161	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero desde San José	Bajo Duero	104.316	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero hasta San José	Bajo Duero	24.838	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual medio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Riegos del Duero entre Riaza y Cega	Riaza	17.804	0	0.342	4.448	4.448	8.897
Riegos Río Arandilla	Alto Duero	17.15	0	0.393	5.114	5.114	10.227
RP Canal del Duero	Riaza	30.806	0	0.285	3.704	3.704	7.408
Riegos del Cega	Adaja-Cega	6.149	0	-0.013	0.049	0.049	0.081
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	0	0.002	0.076	0.074	-0.008
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.188	0	-1.234	-2.388	-2.093	-12.767
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.493	0	-1.731	-3.443	-4.770	-18.875
Riegos del Águeda	Águeda	13.827	0	0	0	0	0
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.984	0	0.371	6.236	6.236	6.236
Riegos del Tormes Bajo	Tormes	15.048	0	0.132	0	0	0
RP Río Corneja	Tormes	6.158	0	0.265	3.638	3.638	3.638
ZR Riegos Meridionales Bajo Duero	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm ³)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
				Déficit anual promedio	Déficit anual máximo	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
ZR Riegos Meridionales Adaja-Cega	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.482	0	0.104	1.234	0	0

Tabla 23. Incrementos en los resultados de detalle de demandas en la situación Base respecto de la situación Plan.

Los empeoramientos significativos en el abastecimiento son 33, concentrados en 12 unidades de demanda agraria. Las mejoras de entidad son 24, concentradas en 6 UDA.

En 57 de las 75 unidades de demanda agraria no hay variaciones de peso en los déficits.

- Resultados de demandas por sistema de explotación

Por sistemas de explotación, los resultados son los siguientes⁴:

Sistema	hm ³					% sobre D. Anual			Número de fallos UTAH
	Demanda anual	Déficit anual promedio	Suma de déficit anual máximo	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	Suma de déficit anual máximo	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	

⁴ Recuérdese que no se trata del déficit máximo anual de las unidades de demanda agraria del sistema sino de la suma de los déficits máximos anuales de cada UDA del sistema. De igual manera con el déficit máximo de 2 años consecutivos y con el de 10.

Adaja-Cega	170.56	63.78	104.92	173.18	668.43	61.51	101.54	391.91	78
Águeda	15.65	0.03	0.88	0.88	0.88	5.65	5.65	5.65	0
Alto Duero	163.21	10.60	50.91	60.26	139.40	31.19	36.92	85.41	26
Arlanza	63.25	0	0	0	0	0	0	0	0
Bajo Duero	130.07	0.04	0.19	0.24	0.46	0.15	0.18	0.35	0
Carrión	281.47	0.31	4.27	4.27	4.27	1.52	1.52	1.52	0
Esla-Valderaduey	978.44	1.28	11.06	19.88	22.92	1.13	2.03	2.34	0
Órbigo	432.78	11.07	42.85	55.84	139.81	9.90	12.90	32.30	25
Pisuerga	212.26	9.49	20.28	29.99	106.03	9.55	14.13	49.95	26
Riaza	115.73	1.77	21.22	21.31	31.20	18.33	18.41	26.96	15
Tera	133.90	0	0	0	0	0	0	0	0
Tormes	277.03	7.73	65.62	77.89	129.97	23.69	28.12	46.92	21

Tabla 24. Resultados globales de demandas en la situación Base.

Se observa que también en la situación Base, el sistema peor abastecido es el Adaja-Cega, siguiéndole muy de lejos Alto Duero, Pisuerga, Órbigo, y Tormes. También importantes, por el peso que tienen en el propio sistema, los déficits en las demandas del sistema Riaza. En las UDA de los sistemas Águeda y Bajo Duero, abastecidas sin déficit en la situación Plan, aparecen déficits de pequeña entidad en la situación Base.

Se analizan ahora los incrementos respecto de la situación Plan. Se resaltan en fondo verde las mejoras significativas, y en rosa los empeoramientos.

Sistema	Demanda anual (hm3)	Incremento en el número de fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. Anual			
			Suma de déficit anual medio	Suma de déficit anual máximo	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.
Adaja-Cega	170.559	-14	-1.817	-5.934	-10.533	-27.940
Águeda	15.651	0	0.217	5.655	5.655	5.655
Alto Duero	163.213	-2	0.939	21.278	21.184	26.842

Arlanza	63.249	0	0	0	0	0
Bajo Duero	130.067	0	0.029	0.149	0.181	0.354
Carrión	281.469	0	-0.075	-2.694	-2.694	-2.694
Esla-Valderaduey	978.442	-25	-0.183	-0.759	-1.229	-3.542
Órbigo	432.778	0	-0.171	-2.992	-3.157	-3.697
Pisuerga	212.258	1	1.411	2.699	3.933	15.161
Riaza	115.728	-5	0.492	-0.071	-0.151	2.023
Tera	133.895	0	-0.048	-1.241	-1.241	-1.241
Tormes	277.025	0	0.601	12.261	12.261	12.261

Tabla 25. Incrementos en los resultados globales de demandas en la situación Base respecto de la situación Plan.

Como no podía ser de otra manera, predominan ligeramente los empeoramientos, destacándose los casos de Alto Duero y sobretodo Pisuerga. Inesperadamente aparece una mejora destacable del suministro de las demandas del sistema Adaja-Cega, por el volumen que representan, por el peso respecto de la dotación total del sistema y porque se trata del sistema peor abastecido con mucha diferencia.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las unidades de demanda abastecidas con fallo en el criterio de garantía de la IPH, en la situación Base.

Demanda agraria	Sistema	Demanda anual (hm ³)	Déficit anual medio (hm ³)	Garantía volumétrica	Fallos UTAH	Déficit anual máximo	Déficit máximo o 2 años consec.	Déficit máximo o 10 años consec.
RP Río Duerna	Órbigo	27.88	9.72	65.14%	25	56.55 %	103.15 %	382.51 %
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.97	9.39	55.22%	26	92.51 %	138.83 %	497.74 %
RP Río Riaza	Riaza	7.93	0.49	93.82%	15	53.66 %	54.76%	105.80 %

Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	24.27	47.30%	26	72.30 %	127.75 %	543.46 %
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.19	6.58	46.01%	26	74.30 %	133.43 %	552.18 %
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.49	31.27	52.26%	26	71.96 %	121.60 %	483.89 %
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.98	4.92	90.15%	8	51.79 %	71.59%	150.29 %
RP Río Corneja	Tormes	6.16	1.13	81.59%	13	60.72 %	99.20%	306.22 %
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.48	8.64	30.76%	26	87.32 %	162.25 %	709.62 %

Tabla 26. Unidades de demanda agraria que no cumplen el criterio de garantía de la IPH en la situación Base.

Las unidades de demanda agraria que no cumplen los criterios de garantía en la situación Base son 9, mientras que en la situación Plan son 13. Estas unidades de demanda agraria que no cumplen los criterios de garantía en la situación Base tampoco lo hacen en la situación Plan.

Producción hidroeléctrica en la situación Base

La producción anual media de energía hidroeléctrica en la situación Base por centrales la siguiente:

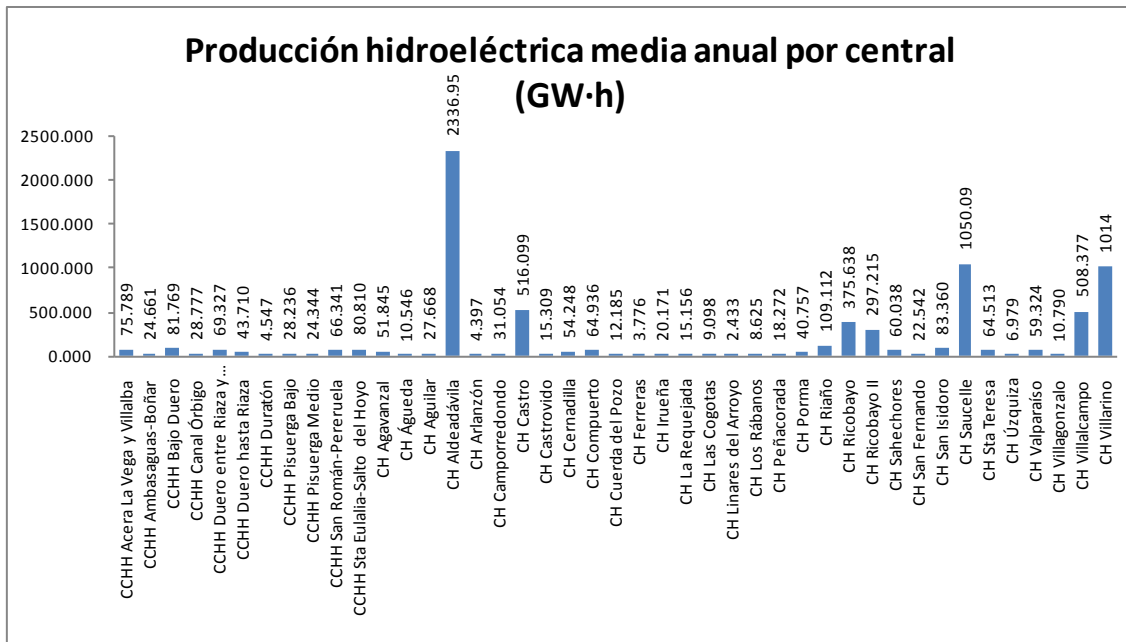


Figura 42. Producción de energía hidroeléctrica por centrales en la situación Base.

La producción anual media en la cuenca asciende de 7377,2 GW·h a 7433,8 GW·h.

Para observar las diferencias respecto de la situación Plan se presenta el siguiente gráfico.

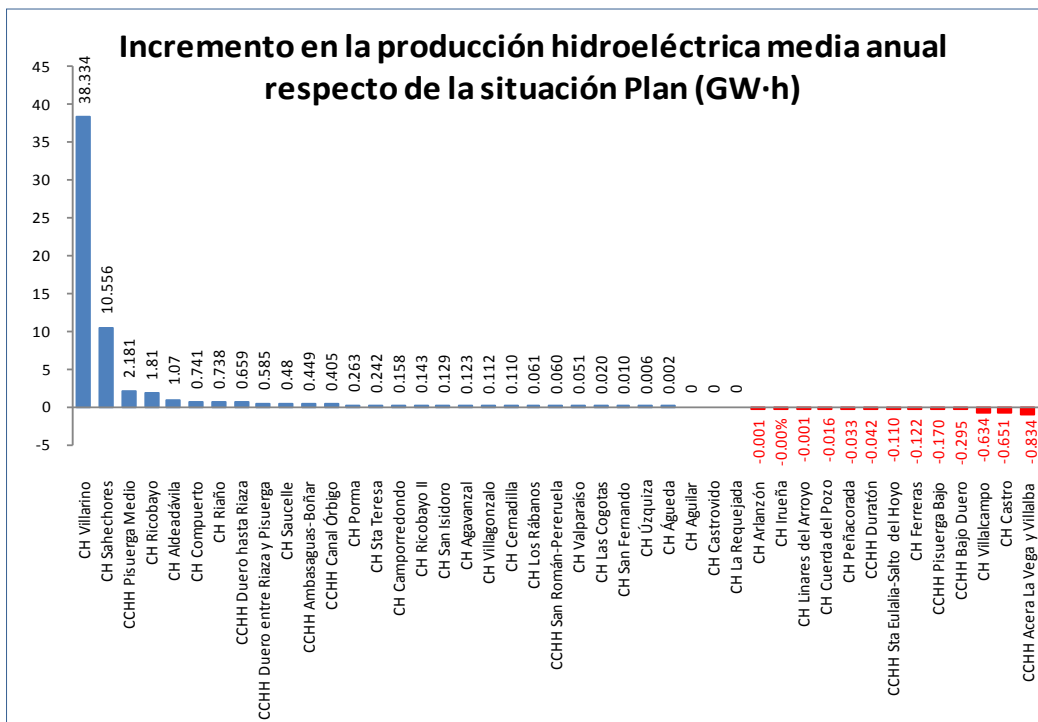


Figura 43. Incrementos en la producción de energía hidroeléctrica por centrales en la situación Base respecto de la situación Plan.

Prácticamente todo el ascenso en la producción se debe al aumento de la central de Villarino.

Los resultados de producción de energía hidroeléctrica en la situación Base, por sistema de explotación son los siguientes.

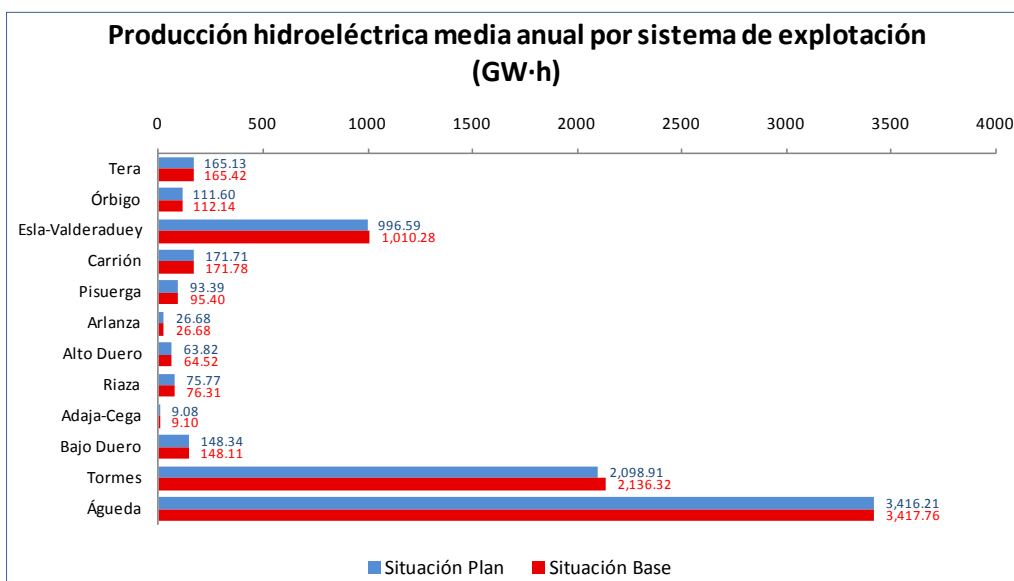


Figura 44. Producción de energía hidroeléctrica por sistemas en la situación Base. Comparación con la situación Plan.

El aumento de la producción se concentra en el sistema Tormes, alrededor de 42 GW-/año más, debido casi exclusivamente al aumento de producción en la central de Villarino. También tiene cierta entidad el aumento de producción en las centrales del sistema Águeda, de alrededor de 6 GW·h/año. El aumento en otros sistemas es insignificante.

Resultados de hábitat en la Situación Base

- Series de hábitat globales

Se presentan, como en el apartado anterior, los resultados de hábitat en las acumulaciones por promedio de porcentaje ponderada y por mínimos, de las series de hábitat por especie y por masa de agua, así como sus variaciones respecto de la situación Plan. Posteriormente se analizan las series de detalle que no cumplen el criterio de garantía definido para las series de hábitat, acumuladas por el método promedio de porcentaje ponderado.

Para facilitar su identificación se resaltan en verde las mejoras significativas, y en rosa los descensos significativos, según el criterio de variaciones significativas de los índices de hábitat.

Acumulación por promedio de porcentaje ponderada

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Barbo	100	0	0	0	76.96	1.05	298.97	4.42
Trucha	100	0	0	0	70.96	-1.07	275.53	-4.92
Boga Duero	100	0	0	0	90.51	2.05	356.43	10.38
Bermejuela	100	0	0	0	84.08	-0.32	329.37	-2.37
Bordallo	100	0	0	0	71.91	-0.95	279.73	-3.78
Boga de río	100	0	0	0	88.46	11.59	349.86	44.87
Anguila	100	0	0	0	96.55	0.22	381.53	0.34
Promedio	100	0	0	0	82.77	1.80	324.49	6.99

Tabla 27. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Base. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

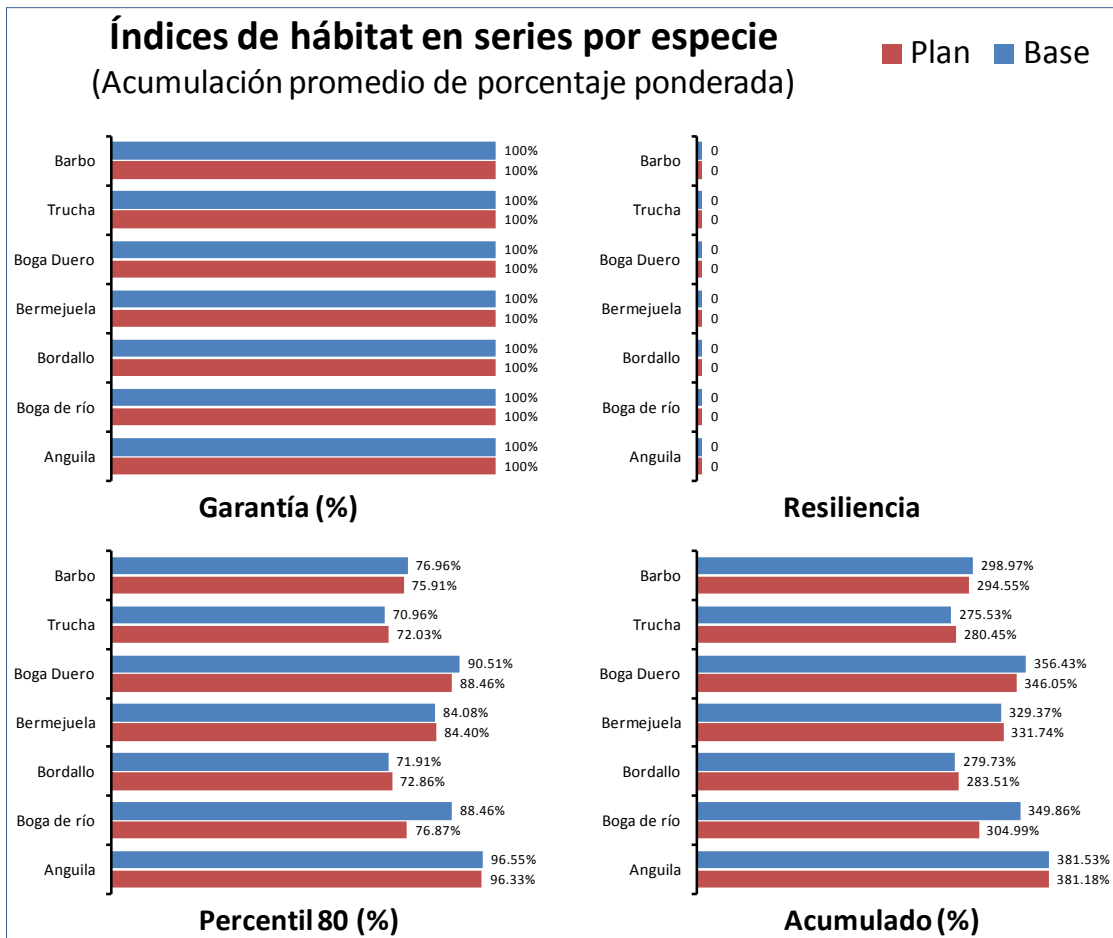


Figura 45. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Base. Comparación con situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Los resultados de hábitat medio de las series por especie siguen siendo excelentes. Predominan las mejoras, pero el descenso del hábitat de la trucha no es despreciable, ya que puede significar empeoramientos notables en series de hábitat no acumuladas porque los resultados de esta serie de hábitat por especie es producto de la acumulación de muchas series. En promedio, el hábitat por especies mejora.

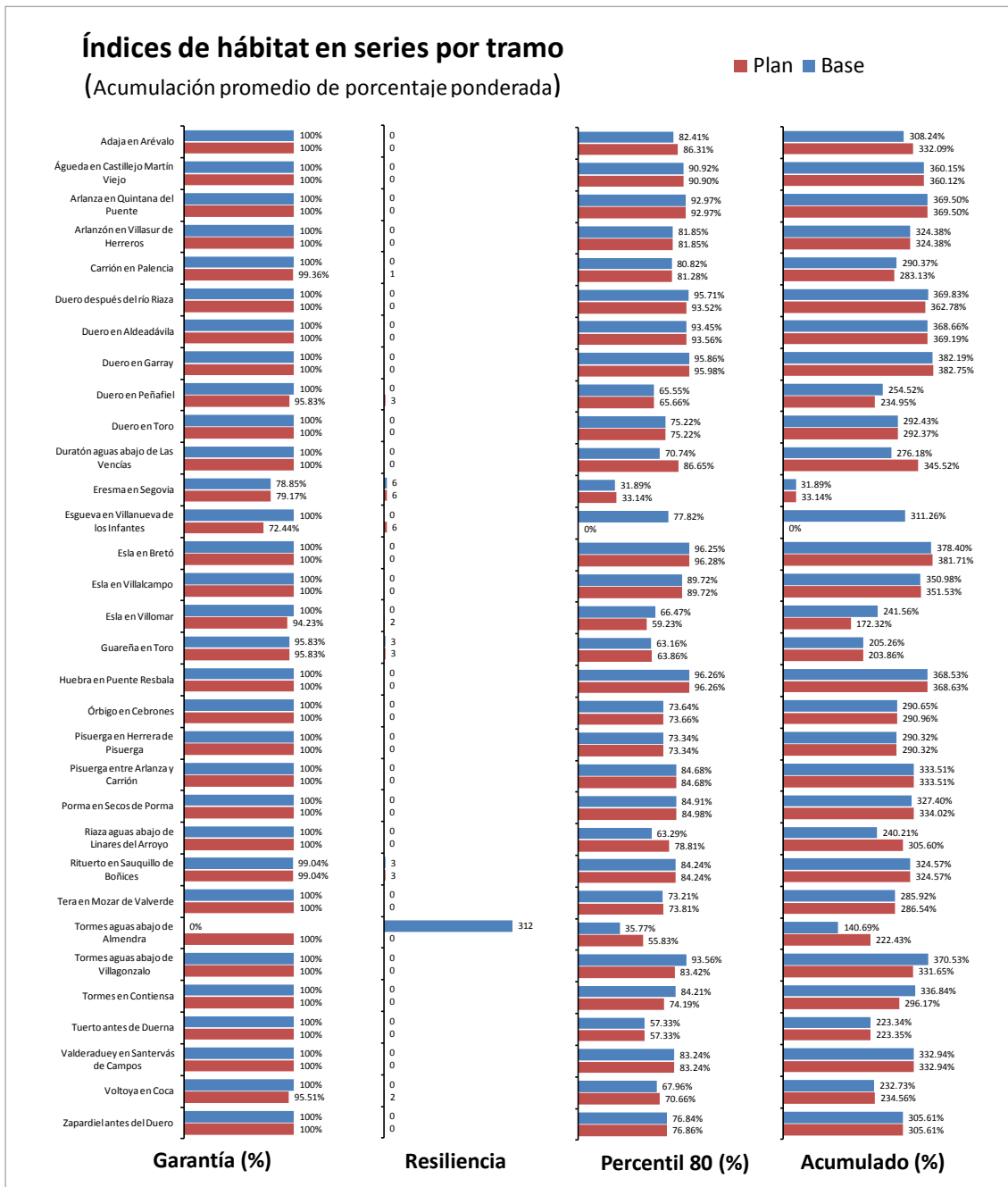


Figura 46. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Base. Comparación con situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Adaja en Arévalo	100	0	0	0	82.4 1	-3.91	308.2 4	- 23.85
Águeda en Castillejo Martín Viejo	100	0	0	0	90.9 2	0.02	360.1 5	0.02
Arlanza en Quintana del Puente	100	0	0	0	92.9 7	0	369.5 0	0
Arlanzón en Villasur de Herreros	100	0	0	0	81.8 5	0	324.3 8	0
Carrión en Palencia	100	0.641	0	-1	80.8 2	-0.47	290.3 7	7.24
Duero después del río Riaza	100	0	0	0	95.7 1	2.19	369.8 3	7.05
Duero en Aldeadávila	100	0	0	0	93.4 5	-0.11	368.6 6	-0.52
Duero en Garray	100	0	0	0	95.8 6	-0.13	382.1 9	-0.56
Duero en Peñafiel	100	4.167	0	-3	65.5 5	-0.11	254.5 2	19.57
Duero en Toro	100	0	0	0	75.2 2	0	292.4 3	0.06
Duratón aguas abajo de Las Vencías	100	0	0	0	70.7 4	- 15.9 1	276.1 8	- 69.34
Eresma en Segovia	78.8 5	- 0.321	6	0	31.8 9	-1.25	31.89	-1.25
Esgueva en Villanueva de los Infantes	100	27.56 4	0	-6	77.8 2	77.8 2	311.2 6	311.2 6
Esla en Bretó	100	0	0	0	96.2 5	-0.04	378.4 0	-3.30

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Esla en Villalcampo	100	0	0	0	89.72	0	350.98	-0.56
Esla en Villomar	100	5.769	0	-2	66.47	7.24	241.56	69.24
Guareña en Toro	95.83	0	3	0	63.16	-0.70	205.26	1.40
Huebra en Puente Resbala	100	0	0	0	96.26	0	368.53	-0.10
Órbigo en Cebrones	100	0	0	0	73.64	-0.02	290.65	-0.31
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	100	0	0	0	73.34	0	290.32	0
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	100	0	0	0	84.68	0	333.51	0
Porma en Secos de Porma	100	0	0	0	84.91	-0.07	327.40	-6.62
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	100	0	0	0	63.29	-15.52	240.21	-65.39
Rituerto en Sauquillo de Boñices	99.04	0	3	0	84.24	0	324.57	0
Tera en Mozar de Valverde	100	0	0	0	73.21	-0.60	285.92	-0.62
Tormes aguas abajo de Almendra	0	-100	312	312	35.77	-20.05	140.69	-81.74
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	0	0	0	93.56	10.13	370.53	38.89
Tormes en Contienza	100	0	0	0	84.21	10.02	336.84	40.67

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Tuerto antes de Duerna	100	0	0	0	57.3 3	0	223.3 4	- 0.003
Valderaduey en Santervás de Campos	100	0	0	0	83.2 4	0	332.9 4	0
Voltoya en Coca	100	4.487	0	-2	67.9 6	-2.71	232.7 3	-1.84
Zapardiel antes del Duero	100	0	0	0	76.8 4	-0.02	305.6 1	0.005
Promedio	96.0 5	-1.80	10.1 3	9.31	77.6 0	1.43	297.4 9	7.48

Tabla 28. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Base. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Los resultados de hábitat medio por masa de agua también son muy buenos en la situación Base. Pese a que se advierte el empeoramiento de bastantes resultados respecto de la situación Plan, siguen predominando las mejoras. Los más notables son el descenso en el acumulado y el percentil 80 en Duratón aguas abajo de las Vencías y en Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, por la magnitud de la variación, y el enorme descenso del hábitat en Tormes aguas abajo de la Almendra. En el sentido positivo, el hábitat por masa de agua crece en valores promedio (el descenso en la garantía y el aumento de la resiliencia en promedio se corregirá con sólo mejorar el hábitat en Tormes aguas abajo de la Almendra), y sobre todo en la espectacular mejora del hábitat en la serie de Esgueva en Villanueva de los Infantes.

Acumulación por mínimos

Mediante la acumulación por mínimos se advierte la peor situación posible de las series acumuladas. Con esta acumulación tan desfavorable se evidencian las series de hábitat excelentes.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Barbo	0	0	312	0	4.08	4.08	4.08	4.08
Trucha	0	-0.321	312	54	3.57	3.57	3.57	3.57
Boga Duero	0	-64.423	312	305	24.17	24.17	93.81	93.81
Bermejuela	24.359	15.705	20	-30	31.67	31.67	31.67	31.67
Bordallo	0	-0.321	312	4	5.78	5.78	20.49	20.49
Boga de río	100	0	0	0	75.26	11.40	301.02	49.07
Anguila	100	0	0	0	96.55	0.22	381.53	0.34
Promedio	32.051	-7.051	181.143	47.571	34.44	11.56	119.45	29.01

Tabla 29. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Base. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación por mínimos.

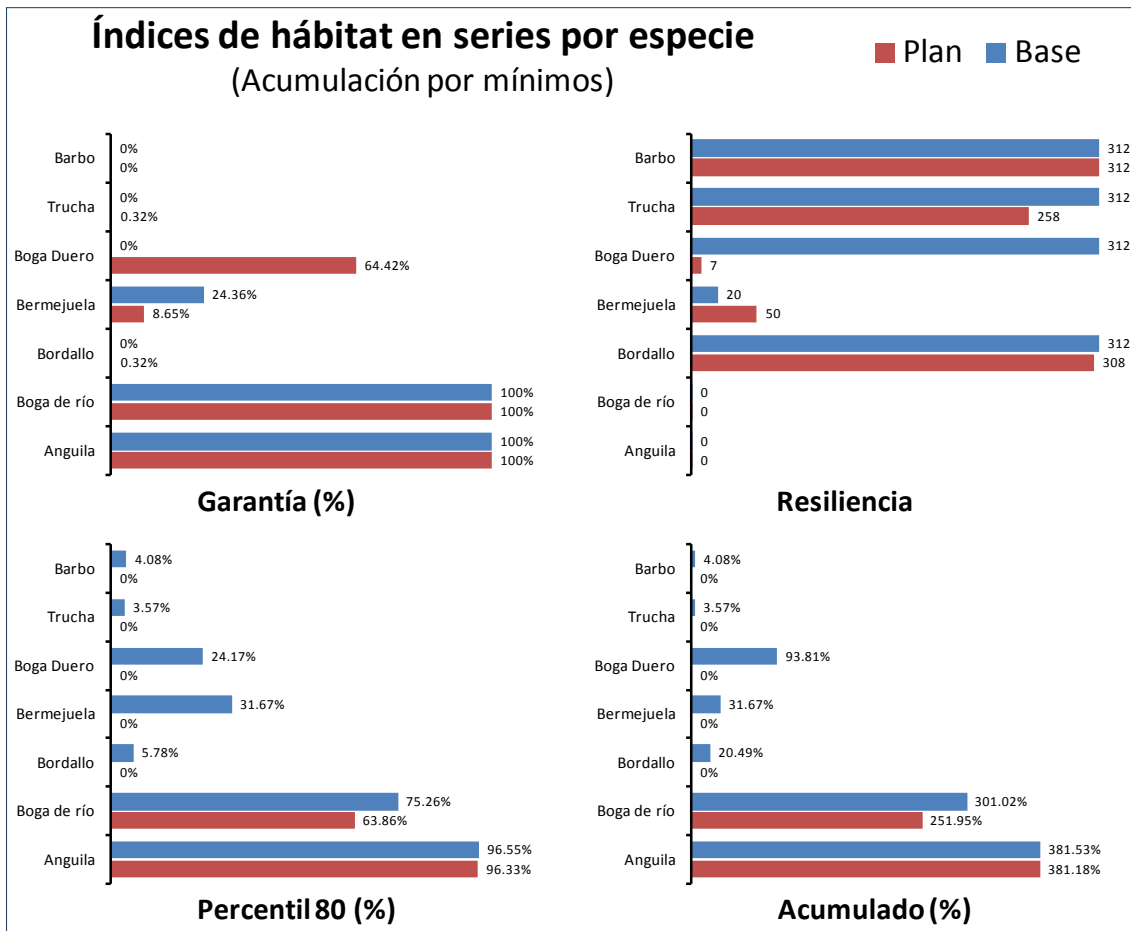


Figura 44. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Base. Comparación con situación Plan. Acumulación por mínimos.

Se empeoran algunas garantías y resiliencias respecto de la situación Plan. Este hecho solamente es significativo con la serie de hábitat de la Boga del Duero. Por el contrario se mejoran los resultados de percentil 80 y acumulado de todas las series de hábitat por especie. De ello se desprende que la situación Base se asegura unos valores de hábitat mínimo por especie.

Las series de hábitat de la boga de río y la anguila son excelentes también en la situación Base.

El hábitat mínimo por tramo presenta los siguientes valores:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Adaja en Arévalo	84.295	-5.128	4	2	44.85	-8.91	141.99	-25.73
Águeda en Castillejo Martín Viejo	99.359	0	1	0	62.65	-0.19	237.40	-0.44
Arlanza en Quintana del Puente	100	0	0	0	82.13	0	318.97	0
Arlanzón en Villasur de Herreros	75	-0.321	5	1	34.55	0	127.20	-0.603
Carrión en Palencia	75.641	6.090	5	0	34.93	5.86	93.14	13.11
Duero después del río Riaza	100	1.282	0	-1	88.29	3.75	333.86	32.35
Duero en Aldeadávila	100	0	0	0	78.51	0.52	310.77	0.52
Duero en Garray	100	0	0	0	83.91	-0.19	332.73	0.11
Duero en Peñafiel	19.872	1.603	32	0	30.97	0.26	123.08	27.39
Duero en Toro	59.936	1.282	19	0	33.19	0	127.58	1.14
Duración aguas abajo de Las Vencías	72.115	-27.885	8	8	32.64	-29.71	119.42	-128.16
Eresma en Segovia	55.45	-1.603	9	2	13.28	3.19	13.28	3.19
Esgueva en Villanueva de los Infantes	72.756	10.256	5	-3	33.37	33.37	133.49	133.49
Esla en Bretó	100	0	0	0	89.30	0	333.49	-9.21

Esla en Villalcampo	100	0	0	0	85.56	0	330.68	0.61
Esla en Villomar	62.821	5.128	6	-1	33.97	10.51	107.06	56.16
Guareña en Toro	76.60	0.321	7	-1	32.48	-0.84	78.34	0.56
Huebra en Puente Resbala	96.474	0	4	0	83.03	0	273.83	0.00
Órbigo en Cebrones	74.679	-0.641	5	0	38.41	-0.11	136.92	-3.47
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	40.385	0	10	0	22.40	0	71.77	0
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	88.782	0	4	0	49.71	0	176.17	0
Porma en Secos de Porma	58.654	2.885	7	0	15.71	-1.91	51.09	-2.83
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	50.962	-19.231	9	4	16.12	-19.98	53.78	-71.00
Rituerto en Sauquillo de Boñices	96.15	0	6	0	59.78	0	216.39	0
Tera en Mozar de Valverde	63.462	-11.218	5	0	34.03	0.48	114.27	0.48
Tormes aguas abajo de Almendra	0	0	312	0	17.39	-13.06	69.57	-51.60
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	0	0	0	86.22	26.45	335.05	100.00
Tormes en Contienza	100	6.090	0	-1	67.90	27.05	271.60	110.05
Tuerto antes de Duerna	5.128	-0.321	57	0	5.52	0.079	20.23	0.079
Valderaduey en Santervás de	8.974	0	58	0	35.3	0	141.3	0

Campos					4		5	
Voltoya en Coca	74.67 9	- 2.564	5	0	30.2 9	-5.84	86.57	-8.21
Zapardiel antes del Duero	100	0	0	0	61.8 8	0	243.4 3	- 0.017
Promedio	72.26	-1.06	18.2 2	0.31	47.4 5	0.96	172.6 4	5.56

Tabla 30. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Base. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Al igual que en los resultados de las series de hábitat por especies, las garantías y las resiliencias se ven empeoradas, en valores medios, respecto de la situación Plan, mientras que los valores de percentil 80 y acumulado mejoran, por lo que se puede afirmar que la situación Base asegura un hábitat mínimo mejor que la Plan.

Analizando los deterioros más significativos, se destacarían, por su magnitud, los de Duratón aguas abajo de las Vencías y los de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo. También empeoran significativamente los resultados de hábitat de Adaja en Arévalo y Tormes aguas abajo de Almendra. Como mejoras, destacar principalmente la de Esgueva en Villanueva de los Infantes, y la leve mejora de Eresma en Segovia, pues son dos series de hábitat muy débiles en la situación Plan. También importantes son las de Tormes aguas abajo de Villagonzalo y la de Tormes en Contienza, aunque el hábitat en estos tramos ya era bueno en la situación Plan.

Las series de hábitat por tramo de valores excelentes son ahora 9, una más que en la situación Plan. Se añaden las series en Duero después del río Riaza, y la de Tormes en Contienza, mientras que desaparece la de Duratón aguas abajo de las Vencías.

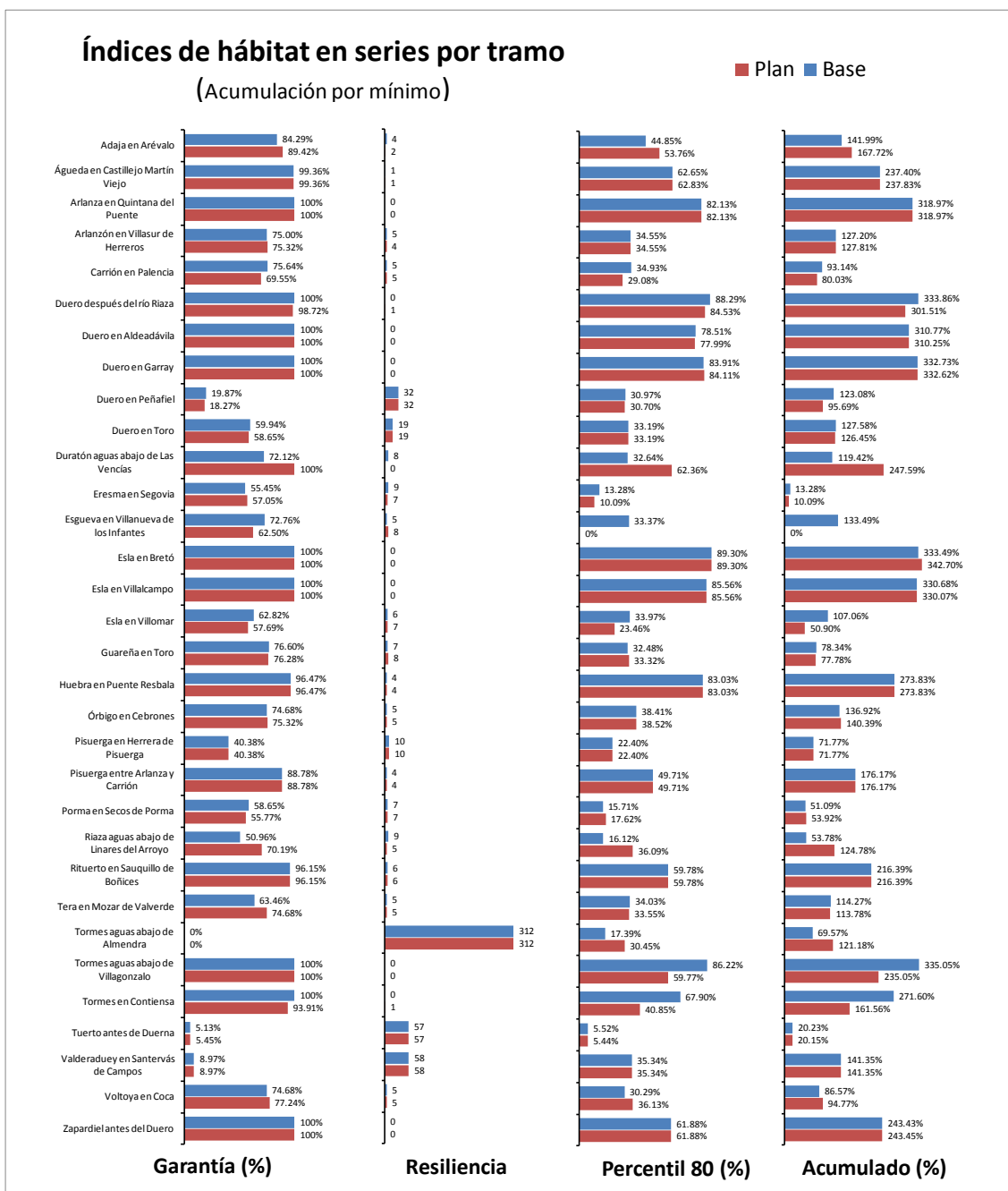


Figura 48. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Base. Comparación con situación Plan. Acumulación por mínimos.

- Series de hábitat de detalle

Se aplica el criterio de garantía para las series de hábitat a los resultados de detalle de hábitat mediante la acumulación promedio de porcentaje ponderada. Recordemos que los resultados de detalle de hábitat son las series de hábitat sin acumular, y las acumuladas por etapas (hábitat por tramo y especie).

En la situación Plan existen 94 de estas series de hábitat que no cumplen el criterio de garantía, mientras que en la situación Base hay 88 series de hábitat que fallan.

De las 88 series de hábitat que fallan en la situación Base, 72 también fallan en la situación Plan, mientras que 16 solamente fallan en la situación Base. De esta manera, también hay 22 series de hábitat que no cumplen el criterio de garantía en la situación Plan y sí lo hacen en la situación Base.

Las 72 series de hábitat que no cumplen el criterio especificado ni en la situación Base ni en la Plan presentan los siguientes resultados:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Adulto	74.36	64.10	5	8	33.37	0	133.49	0
Esla en Villomar/Barbo/Adulto	84.29	77.56	4	4	48.37	35.79	155.09	70.83
Esla en Villomar/Bordallo	81.09	76.92	6	6	41.88	32.22	122.68	79.15
Esla en Villomar/Trucha	87.5	81.41	6	6	60.69	42.89	175.25	110.43
Esla en Villomar/Trucha/Juvenil	81.41	70.51	2	2	40.22	24.31	121.34	48.63
Adaja en Arévalo/Barbo/Alevín	86.15	82.31	2	2	48.98	41.33	137.34	119.89
Esla en Villomar/Bordallo/Adulto	79.17	76.28	6	6	39.41	31.68	119.91	78.61
Carrión en Palencia/Trucha	93.91	89.74	4	4	48.70	52.83	177.92	164.63
Duero en Peñafiel/Bermejuela	55.45	47.76	11	11	32.36	32.36	127.71	127.69
Eresma en Segovia/Barbo/Juvenil	79.67	72.53	5	5	36.10	36.64	56.83	61.08
Esla en Villomar/Trucha/Freza	76.92	76.92	4	4	34.58	29.21	87.01	82.02
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Adulto	71.79	87.5	9	4	16.12	55.20	56.90	172.72
Tormes aguas abajo de	0	50	312	6	20.98	34.68	82.48	138.0

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Almendra/Barbo								5
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Juvenil	0	42.86	7	4	23.44	38.92	91.87	154.20
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Alevín	64.62	79.23	4	3	32.66	39.17	119.53	141.93
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Freza	44.23	89.42	4	3	23.96	59.65	78.00	165.36
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Adulto	0	0	312	312	17.39	30.45	69.57	121.18
Voltoya en Coca/Barbo/Alevín	73.85	80.77	3	3	29.99	41.27	112.87	121.35
Duero en Peñafiel/Barbo/Alevín	0	19.23	5	5	31.08	31.37	123.91	124.56
Duero en Peñafiel/Trucha/Juvenil	0	21.79	6	6	30.70	30.70	122.10	122.08
Eresma en Segovia/Barbo	60.26	60.26	7	7	20.05	24.11	20.05	24.11
Eresma en Segovia/Trucha/Freza	63.46	68.27	4	4	13.28	10.09	26.56	20.18
Tera en Mozar de Valverde/Barbo/Alevín	84.62	84.62	2	2	46.56	52.97	141.44	145.39
Voltoya en Coca/Barbo	84.94	87.82	5	5	49.12	54.36	146.46	150.48
Arlanzón en Villasur de Herreros/Barbo/Alevín	59.23	59.23	2	2	29.98	29.98	119.90	119.90
Arlanzón en Villasur de Herreros/Trucha/Freza	85.58	85.58	2	2	57.33	57.33	158.74	157.70
Carrión en Palencia/Barbo/Alevín	77.69	76.92	3	2	38.40	36.15	136.16	122.92

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Carrión en Palencia/Trucha/Alevín	77.8 8	78.8 5	3	3	35.17	35.18	132.1 1	131.9 3
Carrión en Palencia/Trucha/Freza	66.3 5	68.2 7	4	4	8.68	11.80	21.61	26.66
Duero en Peñafiel/Trucha	61.5 4	61.2 2	8	8	33.16	33.17	131.2 9	131.2 6
Duero en Peñafiel/Trucha/Adulto	50.6 4	47.1 2	12	11	33.17	33.20	132.5 1	132.5 4
Duero en Toro/Barbo/Alevín	53.0 8	53.8 5	5	5	34.91	34.73	117.2 9	116.8 8
Duero en Toro/Bermejuela	76.6 0	76.6 0	7	7	36.28	35.99	135.8 5	135.5 6
Eresma en Segovia/Barbo/Adulto	60.2 6	60.5 8	7	7	27.97	28.84	27.97	28.84
Eresma en Segovia/Barbo/Alevín	43.0 8	43.0 8	4	4	0	0	0	0
Eresma en Segovia/Bermejuela	81.7 3	82.3 7	6	6	51.59	53.07	51.59	53.07
Eresma en Segovia/Trucha	57.6 9	58.0 1	7	7	19.78	19.62	19.78	19.62
Eresma en Segovia/Trucha/Adulto	60.5 8	60.5 8	7	7	21.15	22.25	21.15	22.25
Eresma en Segovia/Trucha/Juvenil	68.5 9	68.5 9	3	3	25.17	26.59	63.25	64.55
Esla en Villomar/Trucha/Alevín	60.5 8	62.5	3	3	26.43	26.43	105.7 2	105.7 2
Guareña en Toro/Barbo	84.2 9	84.2 9	6	6	45.35	45.73	127.6 6	128.4 8
Guareña en Toro/Barbo/Adulto	76.6 0	76.2 8	7	8	32.48	33.32	78.34	77.78

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Guareña en Toro/Barbo/Juvenil	87.3 6	86.8 1	5	6	44.18	44.08	125.0 6	124.1 4
Guareña en Toro/Bermejuela	95.8 3	95.8 3	3	3	69.45	69.93	239.5 7	238.4 3
Guareña en Toro/Boga Duero	95.1 9	95.1 9	3	3	72.73	73.98	233.1 7	233.4 6
Huebra en Puente Resbala/Barbo/Adulto	96.4 7	96.4 7	4	4	100.0 0	100.0 0	309.0 2	309.0 9
Órbigo en Cebrones/Barbo/Adulto	91.3 5	91.9 9	3	3	72.70	72.70	199.2 0	203.1 0
Órbigo en Cebrones/Trucha/Alevín	67.3 1	67.3 1	3	3	36.25	36.25	145.0 0	145.0 0
Órbigo en Cebrones/Trucha/Juvenil	76.9 2	76.9 2	4	4	39.30	39.27	148.7 4	148.6 9
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Barbo/Alevín	21.5 4	21.5 4	4	4	23.64	23.64	94.17	94.17
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha	91.9 9	91.9 9	4	4	45.04	45.04	157.6 8	157.6 8
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Alevín	25.9 6	25.9 6	4	4	18.90	18.90	68.00	68.00
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Freza	60.5 8	60.5 8	4	4	16.55	16.55	35.94	35.94
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Juvenil	43.5 9	43.5 9	5	5	23.24	23.24	91.34	91.34
Pisuerga entre Arlanza y Carrión/Barbo/Alevín	73.0 8	73.0 8	4	4	38.38	38.38	153.5 1	153.5 1
Porma en Secos de Porma/Trucha	86.5 4	88.1 4	4	4	44.83	45.69	155.5 4	158.4 0
Porma en Secos de Porma/Trucha/Alevín	75	75	3	3	38.77	38.84	154.3 3	154.4 1

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Porma en Secos de Porma/Trucha/Freza	1.92	0	4	4	9.15	9.56	36.61	37.02
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Alevín	78.85	78.85	3	3	38.04	38.25	138.37	137.48
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo	96.79	96.79	5	5	86.17	86.17	278.69	278.69
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Adulto	96.15	96.15	6	6	89.26	89.26	257.35	257.35
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Alevín	94.62	94.62	4	4	77.20	77.20	259.57	256.56
Tera en Mozar de Valverde/Trucha/Alevín	35.58	36.54	4	4	25.69	25.69	102.77	102.77
Tuerto antes de Duerna/Barbo/Adulto	94.23	94.55	3	3	80.43	80.43	271.54	274.22
Tuerto antes de Duerna/Bordallo	24.36	24.36	23	22	6.06	6.00	20.77	20.72
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Adulto	10.90	10.90	24	24	5.78	5.71	20.49	20.43
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Alevín	76.92	76.15	5	5	34.05	32.82	100.50	100.69
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Alevín	50.96	50.96	4	4	20.57	20.57	82.28	82.28
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Freza	39.42	39.42	4	4	7.64	7.64	30.54	30.54
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo	41.67	41.67	7	7	35.34	35.34	141.35	141.35
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo/Adulto	8.97	8.97	58	58	35.34	35.34	141.35	141.35
Voltoya en Coca/Barbo/Adulto	76.60	79.17	5	5	34.80	38.63	91.07	99.35

Tabla 31. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Base ni en la situación Plan.

Los empeoramientos respecto la situación Plan predominan ligeramente sobre las mejoras.

Las 16 series de hábitat que no cumplen el criterio de garantía en la situación Base pero que sí lo hacen en la situación Plan son:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Duración aguas abajo de Las Vencías/Barbo/Adulto	72.12	100	8	0	32.64	64.42	119.42	252.08
Duración aguas abajo de Las Vencías/Trucha/Adulto	85.90	100	4	0	43.86	72.00	164.40	283.36
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo	72.76	100	9	0	35.16	61.91	122.61	231.63
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha	81.73	100	5	0	47.74	66.15	117.91	228.92
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Adulto	72.44	100	9	0	24.57	74.09	83.30	245.67
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Juvenil	86.54	100	3	0	63.65	71.52	185.50	269.13
Tera en Mozar de Valverde/Barbo/Adulto	89.10	100	4	0	62.66	71.04	189.14	249.22
Tormes aguas abajo de Almendra/Boga Duero	0	100	312	0	28.60	51.72	114.41	200.61
Tormes aguas abajo de Almendra/BogaDuero/Adulto	0	100	312	0	35.25	54.99	140.98	219.20
Tormes aguas abajo de Almendra/BogaDuero/Alevín	0	100	5	0	24.17	43.15	96.69	172.60
Tormes aguas abajo de Almendra/Bordallo	0	100	312	0	36.37	54.67	144.31	217.96
Tormes aguas abajo de Almendra/Bordallo/Adulto	0	100	312	0	35.21	54.67	140.83	217.96
Tormes aguas abajo de	20	100	4	0	37.1	60.4	148.5	241.8

Almendra/Bordallo/Alevín					4	6	8	2
Adaja en Arévalo/Barbo/Adulto	90.0 6	96.7 9	4	2	54.4 6	70.7 2	171.2 8	234.0 1
Duero en Peñafiel/Barbo	90.3 8	94.2 3	3	2	55.5 2	56.9 4	178.6 6	198.9 3
Arlanzón en Villasur de Herreros/Barbo/Adulto	98.7 2	99.0 4	3	2	100	100	400	400

Tabla 32. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Base pero sí en la situación Plan.

Como es lógico, la mayoría de resultados de estas 16 series de hábitat empeoran. Los descensos de hábitat más preocupantes en la situación Base respecto de la situación Plan se concentran en Tormes aguas abajo de Almendra y en Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo por lo que en apartados posteriores se deberá prestar especial atención al hábitat en estos tramos.

Las 22 series de hábitat que en la situación Plan no cumplen el criterio de garantía y en la situación Base sí lo hacen son:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan	Base	Plan
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Alevín	100	83.0 8	0	5	80.9 6	70.4 1	323.8 5	138.4 1
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo	100	68.2 7	0	8	55.4 1	0.00	221.6 4	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Alevín	100	33.8 5	0	5	70.1 0	0.00	260.8 3	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bermejuela	100	69.8 7	0	7	74.0 8	0.00	296.3 2	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Boga Duero	100	74.0 4	0	6	91.0 0	0.00	361.9 8	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Adulto	100	73.4 0	0	6	88.7 9	0.00	355.1 8	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Alevín	100	40	0	5	92.4 7	0.00	369.2 6	0.00
Esgueva en Villanueva de los	100	74.0	0	6	72.6	0.00	225.3	0.00

Infantes/Bordallo		4			4		5	
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Adulto	100	74.0 4	0	6	72.6 4	0.00	225.3 5	0.00
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Alevín	96.1 5	34.6 2	2	5	87.4 7	0.00	299.3 2	0.00
Duero en Peñafiel/Barbo/Adulto	100	87.1 8	0	6	72.2 8	77.7 7	212.0 4	160.5 4
Duero en Peñafiel/Boga Duero	100	93.5 9	0	5	92.0 3	94.0 0	352.4 6	286.3 4
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Adulto	100	94.2 3	0	4	94.2 3	94.9 5	362.5 9	301.2 3
Duero en Peñafiel/Bordallo	100	94.5 5	0	4	94.4 8	95.2 2	370.5 4	304.9 6
Duero en Peñafiel/Bordallo/Adulto	100	94.2 3	0	4	92.9 5	93.5 5	358.0 1	295.1 7
Duero en Peñafiel/Bordallo/Alevín	100	86.9 2	0	4	94.8 8	93.6 4	379.5 3	218.3 3
Esla en Villomar/Barbo/Alevín	94.6 2	82.3 1	1	2	52.4 9	43.5 4	185.9 4	77.16
Esla en Villomar/BogaDuero/Alevín	100	83.0 8	0	2	84.4 6	42.9 9	302.2 2	70.78
Esla en Villomar/Bordallo/Alevín	100	86.9 2	0	1	90.9 4	81.8 5	352.2 6	149.4 1
Tormes en Contienza/Barbo/Alevín	100	85.3 8	0	1	67.9 0	40.8 5	271.6 0	157.8 9
Porma en Secos de Porma/Barbo/Alevín	92.3 1	86.9 2	1	2	50.1 0	46.6 7	168.9 3	153.8 7
Duero en Toro/Barbo/Adulto	99.6 8	98.0 8	1	4	85.7 7	86.3 6	304.3 7	301.0 5

Tabla 33. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Plan pero sí en la situación Base.

Con la situación Base se mejora principalmente el hábitat en Esgueva en Villanueva de los Infantes.

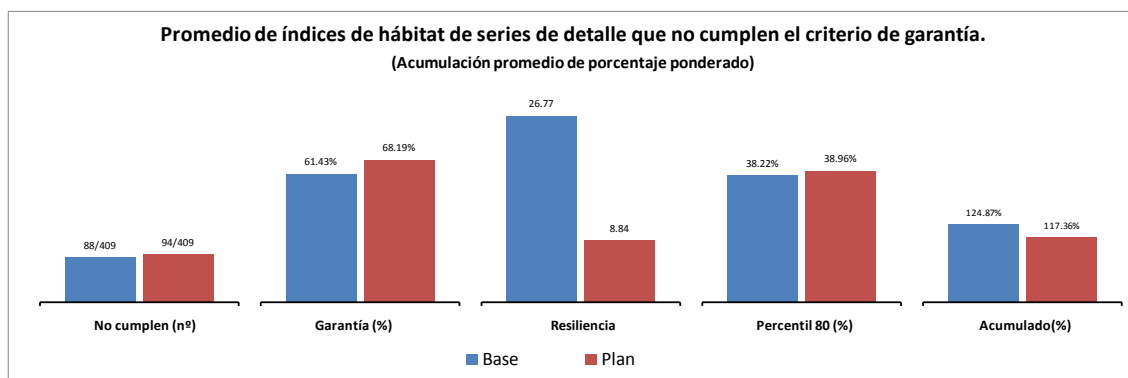


Figura 49. Promedio de índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía.

Del recuento y análisis de las series que no cumplen el criterio de garantía se deduce que en la situación Base hay menos series de hábitat con valores demasiado bajos de HPU en la Plan. Además, los valores del acumulado de las series de detalle que no cumplen el criterio son más elevados, por lo que se deduce que se aseguran valores mínimos de HPU más altos.

Resumen de resultados en la situación Base

- **Abastecimiento a la demanda agraria**

El abastecimiento a las unidades de demanda agraria en la situación Base empeora ligeramente respecto la situación Plan en valores medios. Solamente 12 unidades de demanda agraria presentan cambios negativos de cierta entidad, mientras que el suministro en 6 UDA mejora sensiblemente. Además no sólo no se aumenta el número de unidades que no cumplen los criterios de garantía especificados en la IPH para el abastecimiento a las demandas agrarias, sino que incluso se reduce de 13 a 9, reduciéndose también el número de estos fallos.

Por sistemas, el sistema peor abastecido sigue siendo el Adaja-Cega, aunque se mejoran los resultados respecto de la situación Plan. Con déficits importantes también, aunque muy lejos de Adaja-Cega, los sistemas Alto Duero, Pisuerga, Órbigo, y Tormes. También importantes, por el peso que tienen en el propio sistema, los déficits en las demandas del sistema Riaza. En las UDA de los sistemas Águeda y Bajo Duero, abastecidas sin déficit en la situación Plan, aparecen déficits de pequeña entidad en la situación Base.

Las demandas de los sistemas Arlanza y Tera se abastecen sin déficits.

- **Producción de energía hidroeléctrica**

La producción hidroeléctrica en la cuenca aumenta hasta los 7433,8 GW·h/año con la situación Base. Este incremento se concentra prácticamente en su totalidad en la central hidroeléctrica de Villarino, en derivación aguas abajo del embalse de Almendra.

La mayor parte de esta energía se produce en las centrales que se encuentran en el tramo internacional del río Duero. La producción de las centrales Ricobayo I y II, en la confluencia del Esla con el Duero, tiene también un peso importante.

- **Resultados de hábitat por especie.**

Los resultados de hábitat por especie son excelentes. Las series de hábitat por especie excepto la de la Anguila y la de la Boga de Río tienen un grado de acumulación elevado. Por tanto, este

resultado no implica que no puedan existir series de hábitat no acumuladas o acumuladas por etapas (hábitat por tramo y especie) con resultados de hábitat más discretos. Predominan las mejoras, pero el descenso del hábitat de la trucha no es despreciable, ya que puede significar empeoramientos notables en series de hábitat no acumuladas.

En promedio, el hábitat por especies mejora respecto de la situación Base.

- **Resultados de hábitat por tramo.**

El hábitat medio presenta una situación similar en la situación Base que el que presenta en la situación Plan. Los descensos más importantes en el hábitat se dan en los tramos de río Eresma en Segovia, Duratón aguas abajo de las Vencías y Tormes aguas abajo de la Almendra. Por el contrario, se mejora muchísimo el hábitat en el tramo Esgueva en Villanueva de los Infantes.

En general, el hábitat mínimo mejora en la situación Base. En cambio, los resultados de vulnerabilidad del hábitat (percentil 80 y acumulado, en la acumulación por promedio de porcentaje ponderada y más aún en la acumulación por mínimos) en las series Duratón aguas abajo de las Vencías, Rianza aguas abajo de Linares del Arroyo, Tormes aguas abajo de la Almendra y Adaja en Arévalo empeoran bastante con la situación Base.

Se trata ahora de aumentar los valores de caudal ecológico mínimo en los tramos de estudio de manera que la afección a las demandas no crezca hasta valores inaceptables, y el hábitat mejore por encima de los valores que la situación Plan produce.

- **Resultados de hábitat de detalle.**

De las 409 series de hábitat de detalle, 88 no cumplen el criterio de garantía especificado. De estas 88 series, 72 ya no lo cumplían en la situación Plan.

4.3.4. Efecto individual de los regímenes ecológicos

Se conocen los resultados de hábitat, de demandas y de producción para las simulaciones Plan y Base, que corresponden a las simulaciones del modelo del escenario 2015 con los caudales ecológicos de explotación y con los caudales ecológicos mínimos inferiores de cada tramo respectivamente.

En este apartado se pretende deducir la afección sobre los resultados de hábitat, de demandas y de producción que genera la imposición de regímenes de caudal ecológico mínimo en cada uno de los 32 tramos de estudio. Para ello se partirá de la situación Base y se aumentará uno a uno los valores de caudal ecológico mínimo en cada tramo, guardando los resultados obtenidos para cada situación distinta de caudales ecológicos.

De esta manera se observa la afección individual que tiene la variación de cada caudal ecológico mínimo por separado. Su efecto se evalúa sobre toda la cuenca, sobre sistemas de explotación o incluso sobre elementos concretos de la cuenca, como unidades de demanda agraria, centrales hidroeléctricas, hábitat de una especie-etapa en un tramo de caudal ecológico, etc.

Este análisis consta pues de 322 simulaciones, 10 por tramo de caudal ecológico más las simulaciones correspondientes a la situaciones Plan y Base. Cada simulación consta de llamadas a varios programas. El proceso para cada simulación es el siguiente:

1. Elaboración de los archivos de entrada de SIMGES, para limitar el caudal máximo en cada tramo de caudal ecológico al valor correspondiente de caudal ecológico mínimo.
2. Simulación de SIMGES.
3. Obtención de los resultados de salida de SIMGES necesarios. Para ello se ejecuta la aplicación GistoSimges, que escoge los resultados de SIMGES que se deseen. Los datos necesarios son:
4. Datos de abastecimiento a unidades de demanda agraria.
5. Datos de producción hidroeléctrica.
6. Datos de caudales medios mensuales en los tramos de caudal ecológico.
7. Simulaciones de CAUDECO. Los datos de entrada son los caudales mensuales medios en tramos, y las curvas de Hábitat Potencial Útil por especie y etapa en cada tramo de caudal ecológico. Los resultados de salida son, para cada tipo de acumulación:
8. Series de hábitat no acumuladas y sus curvas de duración de hábitat.
9. Series de hábitat por tramo y especie (acumuladas por etapa) y sus curvas de duración de hábitat.
10. Series de hábitat por tramo (acumuladas por etapa y especie) y sus curvas de duración de hábitat.
11. Series de hábitat por especie (acumuladas por etapa y tramo) y sus curvas de duración de hábitat.
12. Recopilación y elaboración de los resultados en hojas de MS. O. Excel para su posterior análisis mediante gráficos dinámicos.

La ejecución manual de las 322 simulaciones se intuye inacabable. Para ello se ha desarrollado una aplicación Visual Basic que se apoya en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel que genera los distintos archivos de entrada de cada programa del proceso, llama a los distintos programas con éstos, recopila los archivos de salida y elabora los resultados finales para su posterior análisis.

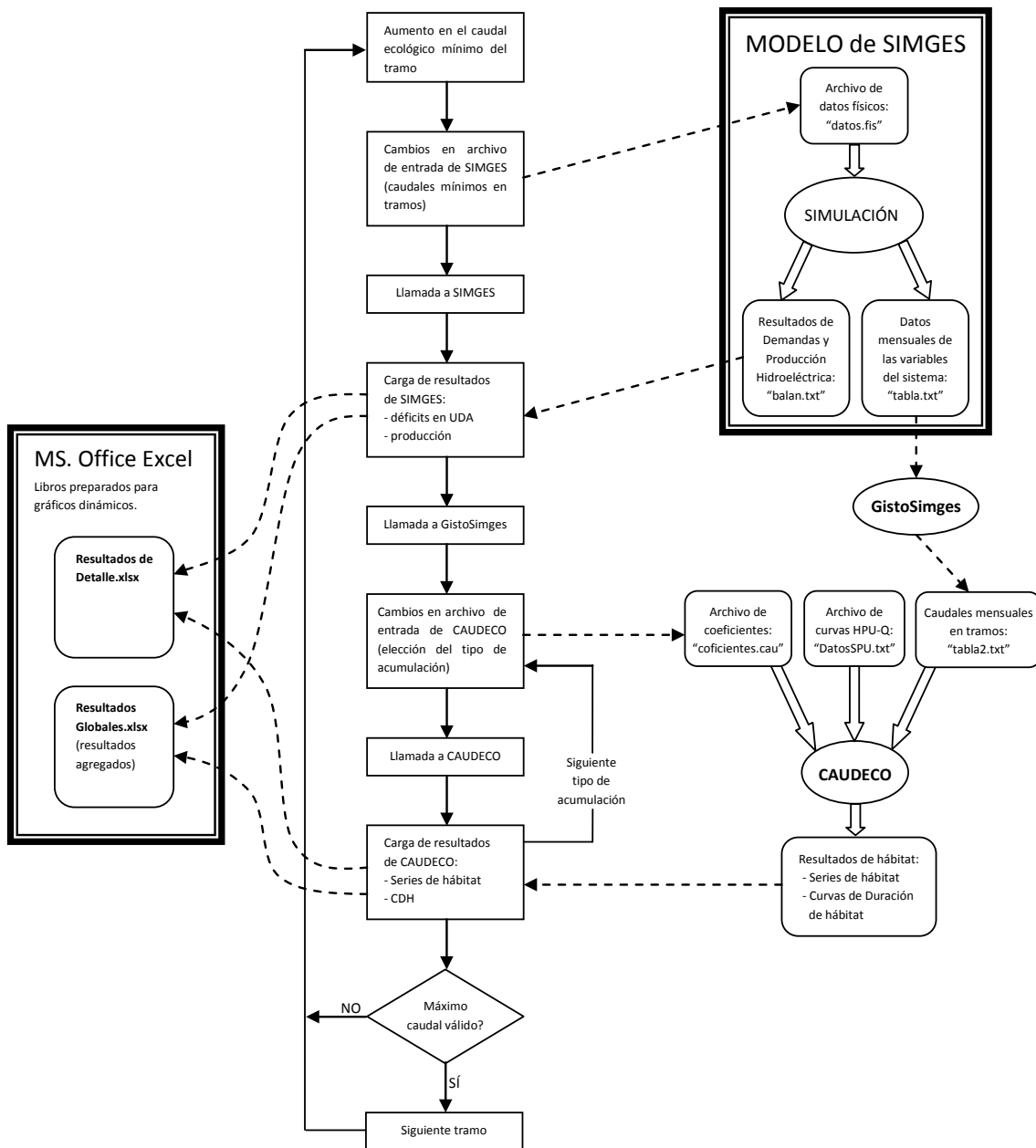


Figura 50. Diagrama de la aplicación para el análisis del efecto individual

Pese a que se generarán resultados de hábitat acumulados por los métodos promedio de porcentaje ponderado, por mínimos y multiplicativa ponderada, en principio solamente se analizarán los resultados proporcionados por la acumulación por promedio de porcentaje ponderado, ya que este tipo de acumulación no diluye los resultados biológicos en los tramos de río de menor hábitat.

Para el análisis de todos los resultados de estas simulaciones se utiliza la herramienta de los gráficos dinámicos que nos ofrece Microsoft Office Excel. Mediante los gráficos dinámicos se pueden crear de manera relativamente sencilla, gráficos que debidamente interpretados permiten analizar la variación de un resultado en función de la simulación, es decir, en función de la combinación de caudales ecológicos escogida.

Las variaciones de cada resultado de demanda o de producción se analizan respecto la situación Base, aunque la situación Plan también se representa en los gráficos. Como síntesis

recordar que en la situación Base, el abastecimiento a demandas empeora ligeramente, la producción de energía hidroeléctrica crece y la producción de hábitat crece levemente en valores medios, y se mejora la vulnerabilidad del hábitat, en comparación con la situación Plan.

La respuesta de la cuenca no es lineal. La variación en los déficits a demandas, la producción hidroeléctrica y de hábitat que genere el aumento simultáneo del caudal ecológico mínimo en dos o más tramos de río no tiene por qué ser la suma de las variaciones que generen los mismos aumentos de caudal ecológico mínimo en estos tramos, por separado.

De la misma manera puede que el aumento del caudal ecológico mínimo en un tramo de río no tenga efectos por separado pero sí los tenga al actuar combinado con variaciones de caudal ecológico mínimo en otro u otros tramos de río.

Por ello no hay que tomar los resultados de este primer análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos mínimos en tramos como absolutos, sino más bien como una orientación para la posterior búsqueda de la solución más adecuada.

4.3.5. Efecto sobre los índices de producción y demandas a escala de cuenca

En un primer grupo de gráficos dinámicos se obtiene la variación de los resultados de demandas y de producción hidroeléctrica en función de la simulación. Se obtienen los resultados agregados a toda la cuenca, o agregados por sistemas de explotación. Éstos gráficos se pueden consultar en el Anejo 1.b, Efecto individual de los regímenes ecológicos sobre las demandas y la producción hidroeléctrica.

Aunque también están disponibles los resultados por elementos concretos como unidades de demanda, centrales, etc. el volumen de información que ofrecen es tan grande y tan desagregado que resulta muy difícil extraer conclusiones si no se integran estos resultados en ámbitos más extensos, con la consiguiente pérdida de información. En caso de que se considere necesario se podría consultar esta información de detalle, para complementar o aclarar posibles lagunas que los resultados a escala de cuenca o de sistema no puedan resolver.

Del análisis de los gráficos del Anejo 1.b se puede extraer información, que se presenta en las siguientes tablas:

Afección individual a resultados de producción y demandas en toda la cuenca.									
Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)	
Adaja en Arévalo	+	+	+	+	+	+	+	+	
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia		+			+				
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	
Duero en Toro	+	+	+3	+3	+3	+3	+3	+3	
Duero después del río Riaza	+2	+	+2	+2	+2	+2	+2	+	
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías	+	+	+	+	+	+	+	+	
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes		+			+			+	
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro	+2								
Huebra en Puente Resbala	+2					+	+	+	
Órbigo en Cebrones		+2	+2	+2	+2	+	+	+	
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde		+	+	+		+	+	+	
Tormes aguas abajo de Almendra	-3								
Tormes en Contienda	+3	+2	+2	+2	+2	+	+2	+	
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	+3	+2	+2	+2	+2	+	+2	+	
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 34. Efecto sobre los índices de demanda y de producción a escala de cuenca.

Cuando se escribe un signo + en una celda, representa que si se aumenta el caudal ecológico de esa fila el resultado de la columna se incrementa de manera significativa. El signo +2 implica que hace aumentar el resultado todavía más, y +3 que el resultado de la columna aumenta mucho cuando el caudal de la fila crece. Lo mismo ocurre con los signos menos, pero decreciendo el resultado a medida que aumenta el caudal ecológico.

A modo de ejemplo se incluye el gráfico de la afección individual a la producción hidroeléctrica en toda la cuenca.

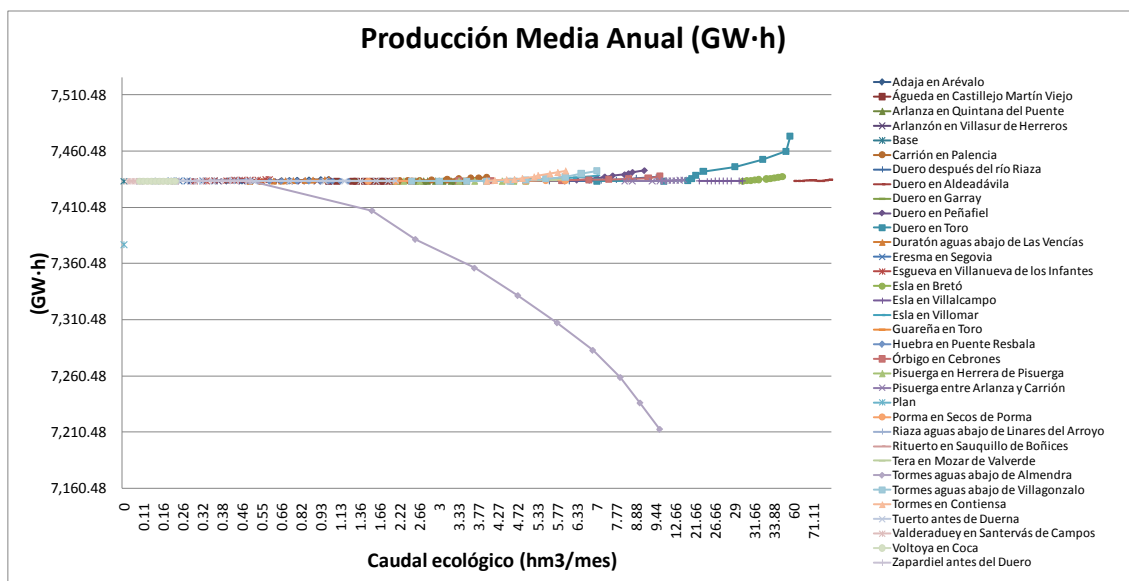


Figura 51. Efecto sobre la producción de energía hidroeléctrica a nivel de cuenca.

A medida que el caudal ecológico mínimo en Tormes aguas abajo de la Almendra crece, la producción hidroeléctrica media anual de la cuenca decrece, pasando de 7425 a 7210 GW·h aproximadamente. Este efecto se señala en la tabla mediante “-3”. Por el contrario, un aumento del caudal ecológico mínimo en Duero en Toro hace aumentar la producción, aunque de manera menos importante (de 7425 a 7470 GW·h aprox.). Este efecto se señala con un “+”. Finalmente se observa que algunos caudales pueden hacer crecer la producción media, pero de manera muy leve. Se entiende que este crecimiento no es significativo para el resultado de toda la cuenca, por lo que no se señala nada más en la columna de la producción. Así pues se señalarán los aumentos del resultado correspondiente mediante “+”, “+2” o “+3” según la magnitud del aumento, y las disminuciones mediante “-”, “-2” o “-3”.

Mediante el ejemplo ya hemos realizado el análisis de la afección individual de los caudales ecológicos sobre la producción, en toda la cuenca. Se resume en que un aumento del caudal ecológico en Tormes aguas abajo de la Almendra es muy perjudicial para la producción, y un aumento del caudal ecológico mínimo en Duero en Toro aumenta la producción ligeramente.

Del análisis de los resultados de demandas se deduce que los caudales ecológicos que más afectan individualmente a las demandas en la cuenca, de manera general son: Duero en Toro, Duero en Peñafiel, Duero después del río Riaza, Tormes en Contienda, Tormes aguas abajo de Villagonzalo y Órbigo en Cebrones. También afectan los caudales Adaja en Arévalo, Duratón aguas abajo de las Vencías y Tera en Mozar de Valverde, y en menor medida Esgueva en Villanueva de los Infantes y Carrión en Palencia.

También se deduce que, sin afectar de manera global a los resultados de demandas, aumentos en los caudales ecológicos mínimos en Guareña en Toro o en Huebra en Puente Resbala incrementan bastante el número de fallos UTAH en la cuenca, por lo que están afectando a demandas que están en alguno de los límites de cumplimiento de los criterios fijados en la IPH. También se encuentran en esta situación los caudales anteriormente citados Tormes en Contienda, Tormes aguas abajo de Villagonzalo, Duero en Peñafiel y Duero después del río Riaza.

4.3.6. Efecto sobre los índices de producción y demandas por sistemas de explotación

A continuación se presentan las tablas de la afección individual a las demandas y la producción, por sistemas de explotación.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Tera.									
Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)	
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro									
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde			+	+	+	+	+	+	+
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienza									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 35. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Tera.

A las demandas del sistema Tera solamente les afecta el aumento de caudal ecológico mínimo en Tera en Mozar de Valverde. En volumen, el aumento de déficit no es insignificante, pero no tiene ninguna consecuencia en el cumplimiento de los criterios de la IPH.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Órbigo.									
Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)	
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro									
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Órbigo.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar			-	-	-	-	-	-	-
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones	-		+3	+3	+3	+3	+2	+2	+2
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienda									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna			+	+	+	+	+	+	+
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 36. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Órbigo.

A los resultados de demandas en el sistema Órbigo solamente les afectan de manera negativa (incrementan los déficits) los incrementos de caudales ecológicos mínimos en Órbigo en Cebrones y ligeramente en Tuerto antes del Duerna. Un aumento del caudal ecológico mínimo en Esla en Villomar mejora ligeramente los resultados de las demandas. La producción hidroeléctrica del sistema disminuye ligeramente con el caudal ecológico mínimo de Órbigo en Cebrones.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Esla-Valderaduey.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro									
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Esla-Valderaduey.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienza									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 37. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Esla-Valderaduey.

Los resultados de demandas del sistema Esla-Valderaduey no resultan afectados por incrementos en los caudales ecológicos, y su imposición respecto la situación plan reduce, en general, los déficits. La producción del sistema tampoco se ve afectada, significativamente. Los resultados mejoran respecto la situación plan.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Carrión.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia			+	+	+	+	+	+	+
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro			+3	+3	+3	+3	+2	+2	+2
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contiensa									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 38. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Carrión.

Las demandas del sistema Carrión se ven influenciadas por los caudales ecológicos mínimos en Carrión en Palencia y sobre todo Duero en Toro. A medida que aumentan estos caudales, aumentan los déficits, pero sin tener consecuencia en el cumplimiento de los criterios de garantía. La producción hidroeléctrica en el sistema no varía significativamente con ningún caudal ecológico.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Pisuerga.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro	-		+2	+3	+3	+2	+2	+2	+2

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Pisuerga.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes			+		+	+2			+
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienza									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 39. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Pisuerga.

Los resultados de demandas en el sistema Pisuerga empeoran con el aumento del caudal ecológico mínimo Esgueva en Villanueva de los Infantes y sobre todo con el de Duero en Toro, sin variar por ello el grado de cumplimiento de los criterios de garantía. La producción disminuye ligeramente también con el aumento de caudal ecológico mínimo en Duero en Toro.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Arlanza.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro	-		+	+2	+2	+	+2	+2	+
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Arlanza.									
	Producción Media Anual (GW·h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienza									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 40. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Arlanza.

Solo el caudal ecológico en Duero en Toro influye significativamente en las demandas y en la producción en el sistema Arlanza. Un aumento del éste empeora los resultados de demandas, sin afcción al cumplimiento de los criterios de garantía, y también provoca una disminución leve de la producción hidroeléctrica del sistema.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Alto Duero.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel	+	+3	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+3
Duero en Toro	+		+2	+2	+2	+2	+3	+2	+3
Duero después del río Riaza	+	+3	+2	+	+	+2	+	+	+
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contiensa									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 41. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Alto Duero.

En el sistema Alto Duero se incrementan los déficits de demandas con aumentos de los caudales ecológicos mínimos en Duero en Toro, en Duero en Peñafiel y también en Duero después del río Riaza. El aumento en los dos últimos tramos provoca además más fallos en los criterios de garantía UTAH especificados en la IPH. Estos tres caudales ecológicos provocan además ligeros incrementos en la producción hidroeléctrica del sistema.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Riaza.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel	+	+2	+	+3	+3	+	+2	+2	+
Duero en Toro	+	+2	+	+3	+3	+	+2	+2	+

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Riaza.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Duero después del río Riaza				+	+		+	+	
Duero en Garray				+	+		+	+	
Duratón aguas abajo de Las Vencías		+3	+	+3	+3	+	+2	+2	+
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo				+	+		+	+	
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienza									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 42. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Riaza.

Son varios los caudales ecológicos mínimos que influyen en los resultados en el sistema Riaza. Los déficits a demandas se incrementan con los aumentos de caudal en Duero después del río Riaza, Duero en Garray, Duero aguas abajo de Linares del Arroyo, y sobre todo en Duero en Toro, Duero en Peñafiel y Duero aguas abajo de las Vencías, que además provocan más fallos de los criterios de garantía. La producción hidroeléctrica en el sistema aumenta un poco con el aumento de caudal ecológico mínimo en Duero en Peñafiel y Duero en Toro.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Adaja-Cega.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo		+2	+	+	+2	+	+	+	+
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro									
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Adaja-Cega.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienda									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 43. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Adaja-Cega.

Solo el caudal ecológico mínimo en Adaja en Arévalo influye significativamente en los resultados del sistema Adaja-Cega. Un aumento de éste empeora los resultados en las demandas, incluso provocando más fallos en el cumplimiento de las garantías de la IPH. La producción hidroeléctrica en el sistema no es afectada por el caudal ecológico en ningún tramo.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Bajo Duero.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro	+		+	+	+	+	+	+	+
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro		+2							
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienda		+							
Tormes aguas abajo de Villagonzalo		+							
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 44. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Bajo Duero.

El incremento del caudal ecológico mínimo en Duero en Toro provoca un ligero aumento en la producción hidroeléctrica en el sistema Bajo Duero. Éste afecta negativamente los resultados de demanda, sin modificar el cumplimiento de los criterios de garantía. En cambio, los aumentos de caudal ecológico mínimo en Tormes en Contienda, Tormes aguas abajo de Villagonzalo y especialmente en Guareña en Toro incrementan los fallos de los criterios UTAH, sin aumentar significativamente el déficit global de la cuenca, lo que muestra que ciertas UDA de poco volumen se abastecen de éstos ríos, en puntos cercanos de los tramos de caudal ecológico.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Tormes.									
Producción Media Anual (GW·h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)	
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro									
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala									
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra	-3								
Tormes en Contienda		+2	+3	+3	+2	+2	+2	+2	+2
Tormes aguas abajo de Villagonzalo		+2	+3	+3	+2	+2	+2	+2	+2
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 45. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Tormes.

Regímenes altos de caudal ecológico mínimo en Tormes aguas abajo de la Almendra penalizan fuertemente la producción en el sistema Tormes. Esta disminución es importantísima también a escala de cuenca. Además, las demandas del sistema se verán afectadas por los aumentos de caudal ecológico mínimo en Tormes en Contienda y Tormes aguas abajo de Villagonzalo, incrementándose también los fallos en los criterios de garantía en el sistema.

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Águeda.									
Producción Media Anual (GW·h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)	
Adaja en Arévalo									
Águeda en Castillejo Martín Viejo									
Arlanzón en Villasur de Herreros									

Afección individual a resultados de producción y demandas. Sistema Águeda.									
	Producción Media Anual (GW-h)	Nº de Fallos UTAH	Déficit Medio Anual (hm ³)	Max. Def. 1 año (hm ³)	Max. Def. 2 años (hm ³)	Max. Def. 10 años (hm ³)	Max. Def. 1 año (%)	Max. Def. 2 años (%)	Max. Def. 10 años (%)
Arlanza en Quintana del Puente									
Carrión en Palencia									
Duero en Aldeadávila									
Duero en Peñafiel									
Duero en Toro	+								
Duero después del río Riaza									
Duero en Garray									
Duratón aguas abajo de Las Vencías									
Eresma en Segovia									
Esgueva en Villanueva de los Infantes									
Esla en Villomar									
Esla en Bretó									
Esla en Villalcampo									
Guareña en Toro									
Huebra en Puente Resbala		+3					+	+	+
Órbigo en Cebrones									
Pisuerga entre Arlanza y Carrión									
Pisuerga en Herrera de Pisuerga									
Porma en Secos de Porma									
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo									
Rituerto en Sauquillo de Boñices									
Tera en Mozar de Valverde									
Tormes aguas abajo de Almendra									
Tormes en Contienda									
Tormes aguas abajo de Villagonzalo									
Tuerto antes de Duerna									
Valderaduey en Santervás de Campos									
Voltoya en Coca									
Zapardiel antes del Duero									

Tabla 46. Efecto sobre los índices de producción y demandas del sistema Águeda.

La producción en el sistema Águeda aumenta levemente con el caudal ecológico Duero en Toro. Las demandas del sistema no varían significativamente en volumen, pero si en porcentaje y sobretodo se incrementan los fallos en los criterios de garantía, cuando se aumenta el caudal ecológico mínimo del tramo de río Huebra en Puente Resbala.

A continuación se presentan dos tablas resumen en las que se muestra la influencia individual del incremento de caudales ecológicos mínimos en los distintos tramos sobre los resultados de demandas y de producción de cada sistema de explotación. Los signos “+” señalan incremento en los diferentes déficits o en los fallos a los criterios de garantía en la tabla de demandas, mientras que en la de producción muestran aumentos de la producción media anual en el sistema.

DEMANDAS	Sistema Tera	Sistema Órbigo	Sistema Esla-Valderaduey	Sistema Carrión	Sistema Pisuerga	Sistema Arlanza	Sistema Alto Duero	Sistema Riaza	Sistema Adaja-Cega	Sistema Bajo Duero	Sistema Tormes	Sistema Águeda
Adaja en Arévalo									+2			
Águeda en Castillejo Martín Viejo												
Arlanzón en Villasur de Herreros												
Arlanza en Quintana del Puente												
Carrión en Palencia				+								
Duero en Aldeadávila												
Duero en Peñafiel							+3	+3				
Duero en Toro				+3	+2	+2	+3	+3		+		
Duero después del río Riaza							+3	+				
Duero en Garray								+				
Duratón aguas abajo de Las Vencías								+3				

DEMANDAS	Sistema Tera	Sistema Órbigo	Sistema Esla-Valderaduey	Sistema Carrión	Sistema Pisuerga	Sistema Arlanza	Sistema Alto Duero	Sistema Riaza	Sistema Adaja-Cega	Sistema Bajo Duero	Sistema Tormes	Sistema Águeda
Eresma en Segovia												
Esgueva en Villanueva de los Infantes					-							
Esla en Villomar		-										
Esla en Bretó												
Esla en Villalcampo												
Guareña en Toro										+		
Huebra en Puente Resbala												+2
Órbigo en Cebrones		+3										
Pisuerga entre Arlanza y Carrión												
Pisuerga en Herrera de Pisuerga												
Porma en Secos de Porma												
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo								+				
Rituerto en Sauquillo de Boñices												
Tera en Mozar de Valverde	+											
Tormes aguas abajo de Almendra												
Tormes en Contienza										+	+3	
Tormes aguas abajo de Villagonzalo										+	+3	
Tuerto antes de Duerna		+										
Valderaduey en Santervás de Campos												
Voltoya en Coca												
Zapardiel antes del Duero												

Tabla 47. Resumen de afección a demandas por sistemas de explotación.

PRODUCCIÓN	Sistema Tera	Sistema Órbigo	Sistema Esla-Valderaduey	Sistema Carrión	Sistema Pisuerga	Sistema Arlanza	Sistema Alto Duero	Sistema Riaza	Sistema Adaja-Cega	Sistema Bajo Duero	Sistema Tormes	Sistema Águeda
Adaja en Arévalo												
Águeda en Castillejo Martín Viejo												
Arlanzón en Villasur de Herreros												
Arlanza en Quintana del Puente												
Carrión en Palencia												
Duero en Aldeadávila												
Duero en Peñafiel							+	+				
Duero en Toro					-	-	+	+		+		+
Duero después del río Riaza							+					
Duero en Garray												
Duratón aguas abajo de Las Vencías												
Eresma en Segovia												
Esgueva en Villanueva de los Infantes												
Esla en Villomar												
Esla en Bretó												
Esla en Villalcampo												
Guareña en Toro												
Huebra en Puente Resbala												
Órbigo en Cebrones		-										
Pisuerga entre Arlanza y Carrión												
Pisuerga en Herrera de Pisuerga												
Porma en Secos de Porma												
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo												
Rituerto en Sauquillo de Boñices												
Tera en Mozar de Valverde												
Tormes aguas abajo de Almendra											-3	
Tormes en Contienda												
Tormes aguas abajo de Villagonzalo												
Tuerto antes de Duerna												
Valderaduey en Santervás de Campos												
Voltoya en Coca												
Zapardiel antes del Duero												

Tabla 48. Resumen de afección a producción de energía hidroeléctrica por sistemas de explotación.

4.3.7. Efecto sobre los índices de hábitat

Mediante la aplicación de Visual Basic se obtienen , para cada una de las 322 simulaciones, los índices de hábitat (garantía, resiliencia, percentil 80 y acumulado) de cada una de las series no acumuladas y acumuladas (448 series de hábitat) por los tres métodos de acumulación seleccionados (por mínimos, multiplicativa ponderada y por promedio de porcentaje ponderada). Esto resulta un total de 1731072 resultados de hábitat.

Ante la imposibilidad de analizar todo este volumen de resultados y extraer conclusiones de ello, se opta por ajustar el análisis a las series de hábitat por tramo y por especie acumuladas por promedio de porcentaje ponderado. Esta información se presenta en gráficos en el Anejo 1b, Efecto individual de los regímenes ecológicos sobre el hábitat por especie y por masa de agua.

Si se considera necesario se analizarán los resultados de detalle de hábitat (series no acumuladas y acumuladas por etapa). El análisis de todos los resultados desagregados o agregados a menor escala se presume innecesario y nada recomendable a priori, por el volumen de información que suponen y por la dificultad de encontrar variaciones significativas que ello entraña.

Del análisis de los gráficos del Anejo 1b se desprende la información que a continuación se detalla.

Efecto sobre los índices de hábitat de series por especie

	Garantía						Resiliencia						Percentil 80						Acumulado									
	Barbo	Trucha	Boga Duero	Bermejuela	Bordallo	Boga de río	Anguila	Barbo	Trucha	Boga Duero	Bermejuela	Bordallo	Boga de río	Anguila	Barbo	Trucha	Boga Duero	Bermejuela	Bordallo	Boga de río	Anguila	Barbo	Trucha	Boga Duero	Bermejuela	Bordallo	Boga de río	Anguila
Adaja en Arévalo																												
Águeda en Castillejo Martín Viejo																												
Añarón en Villasur de Herreros																												
Aranza en Quintana del Puente																												
Carrión en Palencia																												
Duero en Aldeadávida																												
Duero en Peñafiel																												
Duero en Toro																												
Duero después del río Riaza																												
Duero en Garay																												
Duración aguas abajo de Las Ventas																												
Eresma en Segovia																												
Esgueva en Villanueva de los Infantes																												
Esla en Villomar																												
Esla en Bretó																												
Esla en Villacampo																												
Guareña en Toro																												
Huebra en Puente Restaña																												
Ortigo en Cebrones																												
Pisuerga entre Aranza y Carrión																												
Pisuerga en Herrera de Pisuerga																												
Porma en Secos de Porma																												
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo																												
Rituerto en Sauquillo de Boñices																												
Tera en Molar de Valverde																												
Tormes aguas abajo de Almendra																												
Tormes en Contienda																												
Tormes aguas abajo de Villagorazalo																												
Tuerto antes de Duerna																												
Valderaduey en Santervás de Campos																												
Vallueta en Cueva																												
Zapardiel antes del Duero																												

Tabla 49. Efecto sobre los índices de hábitat de series por especie.

El criterio para codificar las variaciones en las curvas del Anejo 1.b en valores para las tablas ha sido el mismo que en las tablas de resultados de demandas. Ni la garantía ni la resiliencia de ninguna de las series acumuladas por masa y etapa (hábitat por especies) se modifica con aumentos individuales de caudales ecológicos mínimos. Esto se debe a que son series acumuladas de muchas otras series (a excepción de la Boga de río y la Anguila), la mayoría de las cuales tienen valores de hábitat muy por encima del 40%, en el que habíamos fijado el fallo. Como consecuencia estas series tan acumuladas no tienen fallos, según estos criterios. Sí varían los índices percentil 80 y acumulado de las distintas series de hábitat por especies.

Acumulado y percentil 80 de la serie anguila empeora con el aumento del caudal ecológico mínimo en Águeda en Castillejo Martín Viejo, pero muy levemente, manteniendo siempre muy buenos resultados.

La serie Boga de Río mejora con el aumento de caudal ecológico en Tormes en Contienda y Tormes en Villasur de Herreros, aunque con estos dos caudales al mínimo de su rango también mantiene unos resultados buenísimos. Solamente estos dos caudales influyen en los resultados de estas dos series acumuladas.

Acumulado y percentil 80 de la serie acumulada Bordallo se ve afectada por varios caudales ecológicos, pero solo el caudal en Tormes Aguas abajo de Almendra tiene un efecto reseñable. El aumento de este caudal ecológico mínimo mejora sus resultados. Los resultados en la

al 95%) es creciente con el aumento del propio caudal ecológico mínimo. El percentil 80 de la serie de hábitat Eresma en Segovia también se ve influenciado solamente por el propio caudal, pero negativamente.

El percentil 80 de la serie Duratón aguas abajo de las Vencías aumenta mucho con incrementos del propio caudal ecológico mínimo, pero también crece con los de Duero en Toro y Duero en Peñafiel. Lo mismo ocurre con el percentil 80 de la serie de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, que aumenta mucho con el caudal ecológico mínimo del tramo propio algo con los de Duratón aguas abajo de las Vencías, Duero después del río Riaza y Duero en Aldeadávila.

El percentil 80 de la serie de hábitat de Guareña en Toro crece bastante con aumentos de caudal ecológico mínimo en Duero en Toro y algo menos con los del Duero en Aldeadávila, y decrece con aumentos en los de Tormes en Contienza y Tormes aguas abajo de Villagonzalo.

Finalmente comentar que el percentil 80 de las series de hábitat de Tormes en Contienza y Tormes aguas abajo de Villagonzalo se incrementa con aumentos de los caudales ecológicos mínimos en cualquiera de los dos tramos.

AFECCIÓN INDIVIDUAL: ACUMULADO	HÁBITAT EN TRAMO																																		
	Adaja en Arévalo	Agueda en Castillejo Martín Viejo	Albarza en Villomar de Herberos	Albarza en Quintana del Puente	Carrión en Palencia	Duero en Aldeadávila	Duero en Peñafiel	Duero en Toro	Duero después del río Riaza	Duero en Garay	Duratón aguas abajo de las Vencías	Eresma en Segovia	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Esla en Villomar	Esla en Bercé	Esla en Villacampo	Guareña en Toro	Huerva en Puente Resbalá	Órbigo en Carroces	Pisuerga entre Albarza y Carrión	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Porma en Secos de Porma	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Ribera en Saucillo de Boñices	Tera en Boza de Valverde	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes en Contienza	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Tuerto antes de Duerna	Valderaduey en Sauterías de Campos	Voltoya en Coca	Zapardiel antes del Duero			
Adaja en Arévalo	+2																																		
Agueda en Castillejo Martín Viejo																																			
Albarza en Villomar de Herberos																																			
Albarza en Quintana del Puente																																			
Carrión en Palencia					+2																														
Duero en Aldeadávila																																			
Duero en Peñafiel																																			
Duero en Toro																																			
Duero después del río Riaza																																			
Duero en Garay																																			
Duratón aguas abajo de las Vencías																																			
Eresma en Segovia																																			
Esgueva en Villanueva de los Infantes																																			
Esla en Villomar																																			
Esla en Bercé																																			
Esla en Villacampo																																			
Guareña en Toro																																			
Huerva en Puente Resbalá																																			
Órbigo en Carroces																																			
Pisuerga entre Albarza y Carrión																																			
Pisuerga en Herrera de Pisuerga																																			
Porma en Secos de Porma																																			
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo																																			
Ribera en Saucillo de Boñices																																			
Tera en Boza de Valverde																																			
Tormes aguas abajo de Almendra																																			
Tormes en Contienza																																			
Tormes aguas abajo de Villagonzalo																																			
Tuerto antes de Duerna																																			
Valderaduey en Sauterías de Campos																																			
Voltoya en Coca																																			
Zapardiel antes del Duero																																			+3

Tabla 53. Efecto sobre el acumulado de las series de hábitat por masa de agua.

La afección individual sobre el acumulado de las series de hábitat por masa es similar a la del índice percentil 80 de las mismas series.

Las series cuyo acumulado solo varía de manera significativa respecto del caudal ecológico mínimo en el mismo tramo son Adaja en Arévalo, Eresma en Segovia, Esgueva en Villanueva de los Infantes, Esla en Villomar, Porma en Secos de Porma, Tormes aguas abajo de la Almendra y Voltoya en Coca. En todos estos tramos excepto en Eresma en Segovia, el acumulado de la

serie mejora con mayores caudales ecológicos mínimos, especialmente en Duratón aguas abajo de las Vencías, Voltoya en Coca y sobre todo, Tormes aguas abajo de la Almendra, en el que el acumulado puede variar desde 143,67% hasta 375'75%.

El acumulado de la serie de hábitat de Carrión en Palencia crece bastante con aumentos de caudal ecológico mínimo en el mismo tramo, y algo menos con aumentos del caudal ecológico mínimo en el tramo Duero en Toro. El acumulado de la serie de hábitat en el tramo Porma en Secos de Porma crece mucho con aumentos en el caudal ecológico mínimo del mismo tramo, pero decrece con aumentos del caudal ecológico mínimo en Duero en Peñafiel y Duero en Toro.

Las series de hábitat en Tormes aguas abajo de Villagonzalo y Tormes en Contiensa presentan acumulados que crecen con aumentos de los caudales ecológicos mínimos en cualquiera de los dos tramos.

Análogamente a lo que ocurre con el percentil 80, el acumulado de la serie de hábitat de Guareña en Toro crece con aumentos del caudal ecológico mínimo en Duero en Aldeadávila y más todavía con el de Duero en Toro, y decrece con aumentos de los de Tormes en Contiensa y Tormes aguas abajo de Villagonzalo, pero no varía con el caudal ecológico mínimo del propio tramo.

4.3.8. Valoración de la influencia de los caudales ecológicos

Tras el análisis de los resultados de demandas, producción y hábitat agregados se puede observar que hay un grupo de caudales ecológicos cuya influencia individual en los resultados es nula o insignificante. Por el contrario, algunos de los caudales influyen en varios resultados, como muestra la tabla siguiente:

	Adaja en Arévalo	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Carrión en Palencia	Duero en Aldeavieja	Duero en Peñafiel	Duero en Toro	Duero después del río Rianza	Duero en Garray	Duración aguas abajo de Las Vencías	Eresma en Segovia	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Esla en Villomar	Guareña en Toro	Huebra en Puente Resbala	Órbigo en Cabrones	Porma en Secos de Porma	Rianza aguas abajo de Linares del Arroyo	Tera en Mozar de Valverde	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes en Contienda	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Tuerto antes de Duerna	Voltoya en Coca	
Producción Media Anual (GW·h)																								
Nº de Fallos UTAH	+				+2	+	+2		+				+2	+2										
Déficits	+7		+2		+14	+21	+12		+7		+3			+3	+11				+6		+12	+12		
Déficits Sist. Tera																			+7					
Producción Sistema Órbigo																								
Déficits Sist. Órbigo													-7			+18								
Déficits Sist. Carrión			+7				+18																	+7
Producción Sist. Pisuerga							-																	
Déficits Sist. Pisuerga							+16				+5													
Producción Sist. Arlanza							-																	
Déficits Sist. Arlanza							+11																	
Producción Sist. Alto Duero						+	+	+																
Fallos UTAH Sist. Alto Duero						+3		+3																
Déficits Sist. Alto Duero						+15	+16	+9																
Producción Sist. Rianza							+	+																
Fallos UTAH Sist. Rianza							+2	+2																
Déficits Sist. Rianza							+13	+13	+4	+4	+13							+4						
Fallos UTAH Sist. Adaja-Cega	+2																							
Déficits Sist. Adaja-Cega	+8																							
Producción Sist. Bajo Duero							+																	
Fallos UTAH Bajo Duero														+2										
Déficits Sist. Bajo Duero							+7																	
Producción Sist. Tormes																								
Fallos UTAH Tormes																								
Déficits Sist. Tormes																								
Producción Sist. Águeda							+																	
Fallos UTAH Águeda																								
Déficits Sist. Águeda																								
Percentil 80 de serie de hábitat por especie	+	-					+		+5	+3	+							+2	+	+8	+3	+3		+
Acumulado de serie de hábitat por especie	+	-	+				+3		+5	+2	+2							+3	+	+9	+2	+3		+2
Garantía de serie de hábitat por tramo							+	+	+3	+														
Resiliencia de serie de hábitat por tramo							-3	-	-2	-														
Percentil 80 de serie de hábitat por tramo	+2		+	+2	+	+3	+		+4	-	+2	+						+3		+4	+2 (-1)	+2 (-1)		+2
Acumulado de serie de hábitat por tramo	+2		+2	+	-	+3 (-1)			+3	-	+	+						+3		+4	+2 (-1)	+3 (-1)		+3
Cantidad de resultados influidos:	8	2	5	4	12	22	9	1	8	5	6	3	2	4	3	1	5	4	8	10	10	1	4	

Tabla 54. Influencia de los caudales ecológicos sobre los resultados globales.

Esta tabla muestra la importancia del valor de caudal ecológico mínimo en el tramo Duero en Toro, que afecta significativamente a la producción hidroeléctrica y a las demandas en casi todos los sistemas de explotación y por supuesto también a nivel de cuenca, y a los resultados de hábitat de series muy acumuladas. También influyen en muchos resultados los valores de caudal ecológico mínimo en Duero en Peñafiel, Tormes en Contienda y Tormes aguas abajo de Villagonzalo.

La variación del caudal ecológico mínimo en otros tramos no afecta a tantos resultados pero a veces afecta de manera muy importante, como la variación del caudal ecológico de Órbigo en Cebrones, que hace aumentar mucho los déficits en el sistema Órbigo hasta el punto en que tiene una repercusión notable a escala de cuenca, o la del caudal de Tormes aguas abajo de la Almendra, que disminuye mucho la producción hidroeléctrica en el sistema Tormes, y resulta la principal influencia en la producción hidroeléctrica a escala de cuenca.

Se trata ahora de identificar el valor del caudal ecológico mínimo en cada tramo, o acotar el rango de variación, de manera que se consigan los mejores resultados. Este valor de caudal o nuevo rango de variación de caudal nos ofrecerá pistas para el análisis con la imposición simultánea de caudal ecológico en varios tramos, pero no la solución, pues la respuesta a la

imposición de varios caudales puede diferir mucho de la suma de las respuestas de las imposiciones de los mismos caudales ecológicos mínimos uno a uno.

Para la identificación del caudal ecológico mínimo en cada tramo que mejores resultados produzca en la cuenca en el análisis de la afección individual, puede ser necesario generar gráficos que muestren la evolución de dos o tres resultados con las variaciones del caudal, o puede no serlo si el efecto es de menor importancia o si las variaciones de todos los resultados afectados apuntan en la misma dirección (mejor cuanto más caudal o mejor cuanto menos caudal).

Caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en cada tramo

En los tramos cuyo caudal ecológico mínimo no tiene ningún efecto significativo por separado puede tomarse cualquier valor del rango, el más alto, el más bajo o el medio, ya que ningún valor hace variar significativamente los resultados de demandas, producción hidroeléctrica o hábitat. Estos tramos son:

- Arlanzón en Villasur de Herreros
- Arlanza en Quintana del Puente
- Esla en Bretó
- Esla en Villalcampo
- Pisuerga entre Arlanza y Carrión
- Pisuerga en Herrera de Pisuerga
- Rituerto en Sauquillo de Boñices
- Valderaduey en Santervás de Campos
- Zapardiel antes del Duero

A excepción de los tramos del Esla, ninguno de estos tramos “no influyentes” tiene ningún tramo “influyente” aguas arriba. Se trata de tramos en ríos que abastecen bien a las demandas consuntivas y de producción hidroeléctrica sin afección importante del hábitat, o de tramos cercanos a las cabeceras de los que no cuelgan muchas demandas. La variación del caudal ecológico mínimo del tramo Esla en Villalcampo tiene poco efecto porque se trata de un embalse que siempre está lleno, por lo que el hábitat se mantiene en valores muy constantes y no afecta a demandas ni a la producción.

Analicemos los caudales ecológicos mínimos que sí influyen, empezando por los que menos lo hacen.

- Duero en Garray

Aumenta significativamente, pero de manera leve, el máximo déficit anual y el máximo déficit de dos años consecutivos en el sistema Riaza, tanto en hm^3 como en porcentaje sobre la demanda anual del sistema. No tiene efectos significativos sobre el hábitat. Por tanto se elige como óptimo el valor mínimo del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Duero en Garray es de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Porma en Secos de Porma

Este caudal ecológico hace aumentar el resultado acumulado de la serie de hábitat del propio tramo. Con cualquier valor del caudal los resultados de hábitat de esta serie son buenos, también el acumulado, por lo que si en el análisis simultáneo tiene efectos sobre las demandas o la producción, el resultado óptimo orientativo que aquí se apunta puede modificarse sin efectos muy negativos. Se propone como óptimo de referencia el caudal máximo del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Porma en Secos de Porma es de $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Tuerto antes del Duerna

Afecta solamente aumentando los déficits del sistema Órbigo, aunque de manera muy leve y solamente para los tres valores más altos del rango de validez de caudal ecológico mínimo. También afecta de manera insignificante al acumulado de la serie de hábitat en el propio tramo, aumentando del 223.4% al 225.4% a partir del segundo valor del rango. El rango inicial de caudales ecológicos válidos se acota a caudales entre el 2º y el 6º valor.

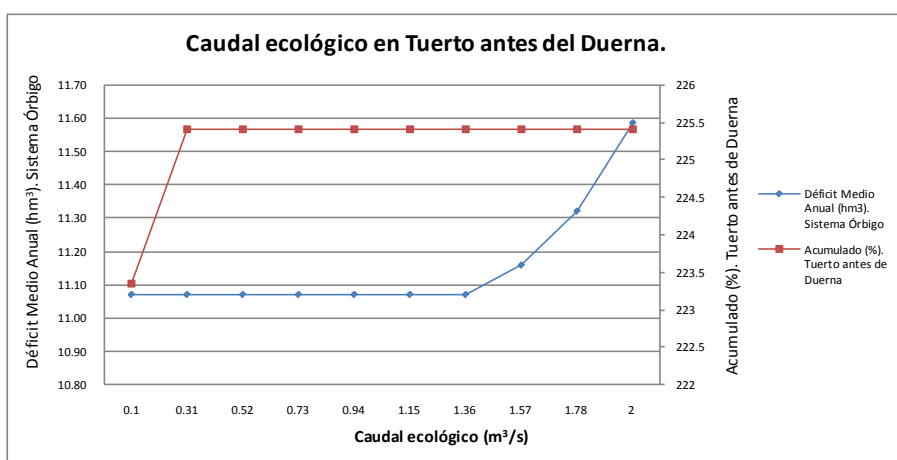


Figura 52. Efecto del caudal ecológico en el río Tuerto antes del Duerna.

El óptimo orientativo de caudal ecológico mínimo en Tuerto antes del Duerna va de $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1.36 \text{ m}^3/\text{s}$.

- **Águeda en Castillejo Martín Viejo**

Afecta primero aumentando y luego haciendo disminuir el hábitat y el percentil 80 de la serie de hábitat de la anguila, que solamente está presente en este tramo. La afección es casi imperceptible y los resultados de esta serie son muy buenos para cualquier valor del caudal, por lo que en caso necesario por afección a demandas o producción hidroeléctrica cualquier valor sería válido. En principio se escoge el segundo valor del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Águeda en Castillejo Martín Viejo es de 1.11 m³/s.

- **Guareña en Toro**

Este caudal hace aumentar los fallos en los criterios de garantía de las demandas del sistema Bajo Duero. No repercute en los déficits globales del sistema, por lo que alguna unidad de demanda de poco volumen debe estar acusando su imposición.

Analizando los resultados de detalle mediante los gráficos dinámicos podemos identificar que la demanda que sufre los efectos de la imposición de caudales ecológicos mínimos en este tramo es DA 6046 RP río Guareña.

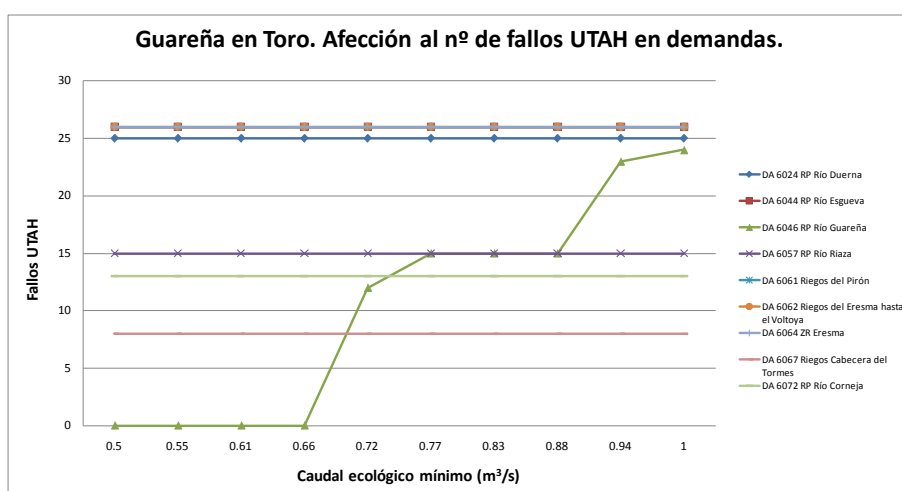


Figura 53. Efecto del caudal ecológico en el río Guareña en Toro.

En el gráfico de detalle y en los del Anejo 1.b se observa que no hay fallos de los criterios UTAH de la IPH hasta el caudal 0.72 m³/s. Se acotará el rango de caudal ecológico mínimo válido.

El óptimo orientativo de caudal ecológico mínimo en Guareña en Toro oscila entre 0.5 m³/s y 0.66 m³/s.

- **Esla en Villomar**

El aumento del caudal ecológico mínimo en este tramo produce un ligero descenso de algunos déficits en el sistema Órbigo y leves aumentos en acumulado y percentil 80 de la serie de hábitat del propio tramo. Los resultados de hábitat no son malos pero tampoco son especialmente buenos, por lo que se escoge como óptimo el máximo valor del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Esla en Villomar es de 7 m³/s.

- **Órbigo en Cebrones**

Su aumento afecta mucho a los déficits de las demandas del sistema Órbigo, repercutiendo en valores notables a escala de cuenca. No hace incrementar el fallo en los criterios de las garantías en ninguna demanda. También hace disminuir levemente la producción de energía hidroeléctrica de las centrales del sistema. Por todo ello se propone el valor mínimo del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Órbigo en Cebrones es de 2.5 m³/s.

- **Duero en Aldeadávila**

Aumentos del caudal ecológico mínimo en Duero en Aldeadávila mejoran resultados de hábitat en los tramos Guareña en Toro, Riaza Aguas abajo de Linares del Arroyo y en Tormes aguas abajo de la Almendra. No afecta significativamente a ningún resultado de demanda o producción a nivel de cuenca o sistema de explotación. En consecuencia, el óptimo tras el análisis de la afección individual es el valor máximo del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Duero en Aldeadávila es de 80 m³/s.

- **Huebra en Puente Resbala**

El aumento de caudal ecológico mínimo en este tramo hace aumentar los déficits de las demandas del sistema Águeda respecto de la situación base, incrementando los fallos en los criterios de garantía y repercutiendo incluso a escala de cuenca. El óptimo es el menor caudal del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Huebra en Puente Resbala es de 0.6 m³/s.

- **Tera en Mozar de Valverde**

Aumentos del caudal ecológico en este tramo provocan déficits en las demandas del sistema Tera (en la situación base no hay déficit en este sistema) de la entidad suficiente como para afectar a escala de cuenca. Pese a ello no provoca fallos en los criterios de garantía. En este sentido nos interesa el caudal mínimo del rango. Pero aumentos del caudal ecológico mínimo en este tramo también provocan mejoras apreciables en el percentil 80 y acumulado de la serie de hábitat del Barbo, aunque los resultados son excelentes para cualquier valor.

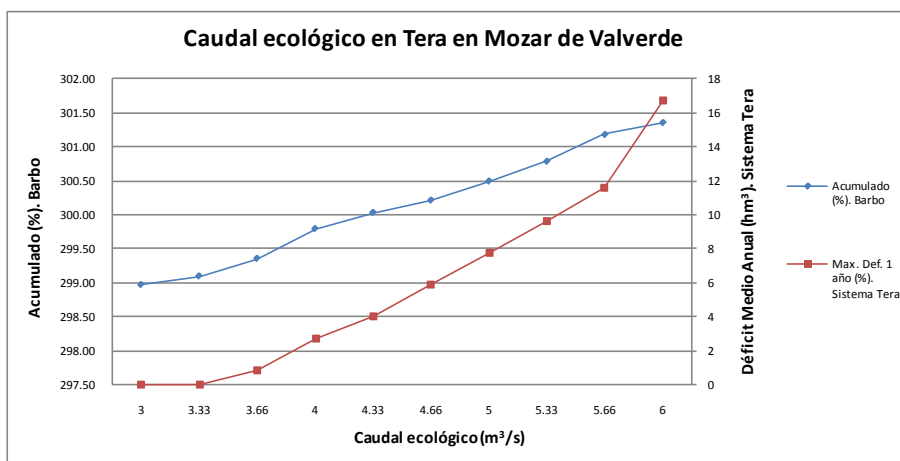


Figura 54. Efecto del caudal ecológico en el río Tera en Mozar de Valverde.

El óptimo orientativo de caudal ecológico mínimo en Tera en Mozar de Valverde va de 3 m³/s a 3.33 m³/s.

- **Voltoya en Coca**

El caudal ecológico mínimo en este tramo debe variar entre 0.1 y 0.2 m³/s. Con caudales mayores, se mejoran sensiblemente los resultados de percentil 80 y acumulado de las series de hábitat de la Bermejuela y del propio tramo, así como el acumulado de la serie de hábitat del barbo. No hay afección significativa a las demandas a nivel de sistema de explotación ni mucho menos a nivel de cuenca. Se toma como óptimo el máximo caudal del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Voltoya en Coca es de 0.2 m³/s.

- **Carrión en Palencia**

Hace aumentar los déficits en las demandas del sistema Carrión, con repercusión a nivel de cuenca pero sin aumentar los fallos en los criterios de garantía. También mejora perceptiblemente los resultados percentil 80 y acumulado de la serie de hábitat en el propio tramo, y el acumulado de la serie del barbo en la cuenca.

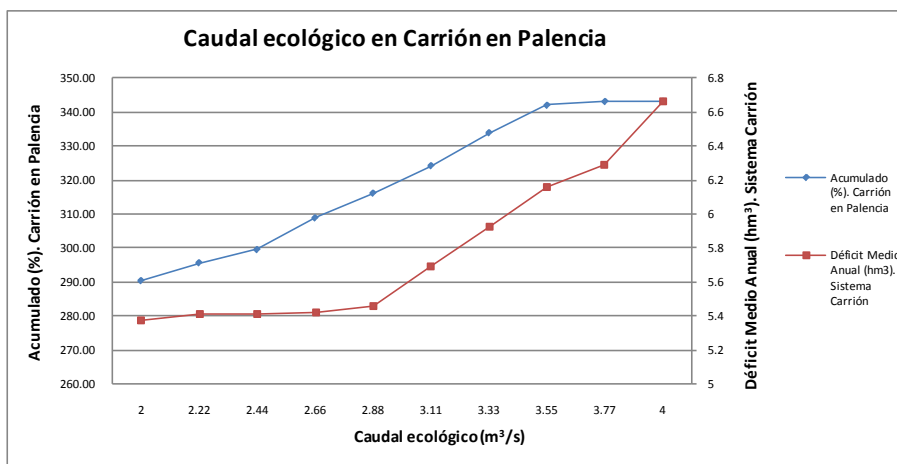


Figura 55. Efecto del caudal ecológico en el río Carrión en Palencia.

Las demandas, en general, no aumentan mucho hasta alcanzar el quinto valor de caudal del rango. Los resultados de hábitat mejoran desde el primer valor, pero son buenos para cualquier caudal ecológico mínimo del rango permitido. Se acota el rango inicial a los primeros cuatro valores.

El óptimo orientativo de caudal ecológico mínimo en Carrión en Palencia va de 2 m³/s a 2.88 m³/s.

- Eresma en Segovia

Al incrementar el caudal ecológico mínimo en este tramo se mejora el percentil 80 y el acumulado de las series de hábitat del barbo y de la trucha, pero se empeoran estos mismos resultados y la garantía de la serie de hábitat en el propio tramo.

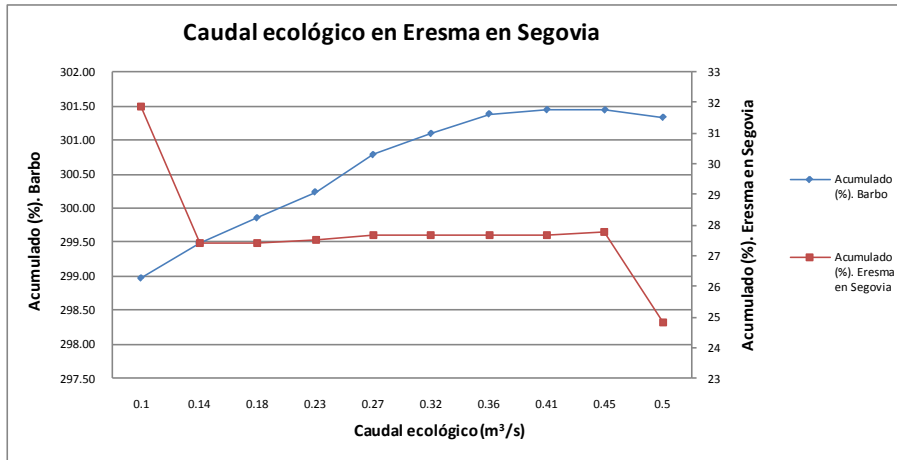


Figura 56. Efecto del caudal ecológico en el río Eresma en Segovia.

Los resultados de las series de la trucha y el Barbo son muy buenos sea cual sea el valor del caudal mínimo en este tramo, con la tendencia descrita anteriormente. Los resultados de la serie de hábitat de Eresma en Segovia son muy malos independientemente del caudal (a excepción de la garantía, que se mueve en torno al 77%). Se prioriza la serie del propio tramo no agravando la situación.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Eresma en Segovia es de 0.1 m³/s.

- Riaza aguas abajo de Linares del arroyo

Al incrementar el caudal mínimo ecológico en este tramo se mejoran el percentil 80 y el acumulado de las series de hábitat del propio tramo, y de la trucha, y más levemente el acumulado de la serie hábitat de la bermejuela. Por el contrario, se empeoran los déficits en el sistema Riaza, eso sí, sin repercusión a nivel de cuenca ni en el cumplimiento de los criterios de garantía.

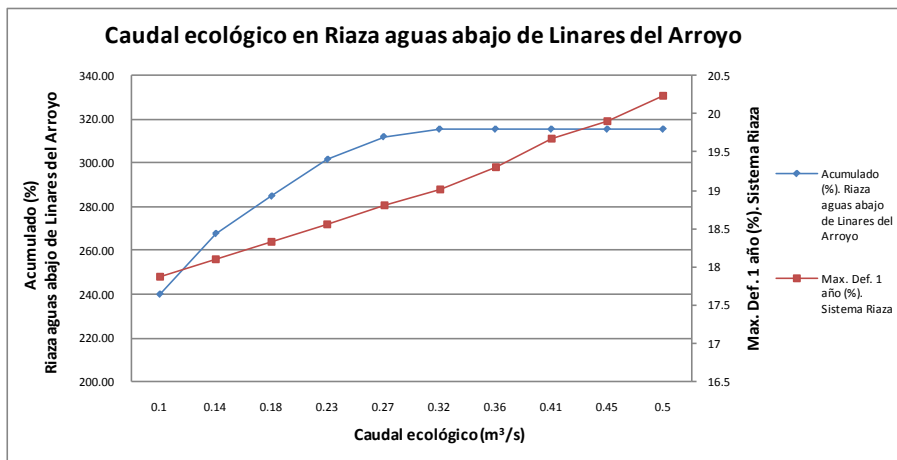


Figura 57. Efecto del caudal ecológico en el río Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo.

Los valores de déficits no son demasiado malos en ningún caso, y los incrementos que se producen no son de gran magnitud. Sí es más importante la mejora del hábitat con el aumento de caudal mínimo ecológico, sobre todo en la serie del propio tramo.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo es de 0.27 m³/s.

- Esgueva en Villanueva de los Infantes

Incrementar el caudal ecológico mínimo en este tramo mejora el acumulado y el percentil 80 de las series de hábitat del barbo y del propio tramo, pero también incrementa los déficits en el sistema Pisuerga, sin aumentar los fallos en los criterios de garantía, pero con repercusión apreciable a nivel de cuenca.

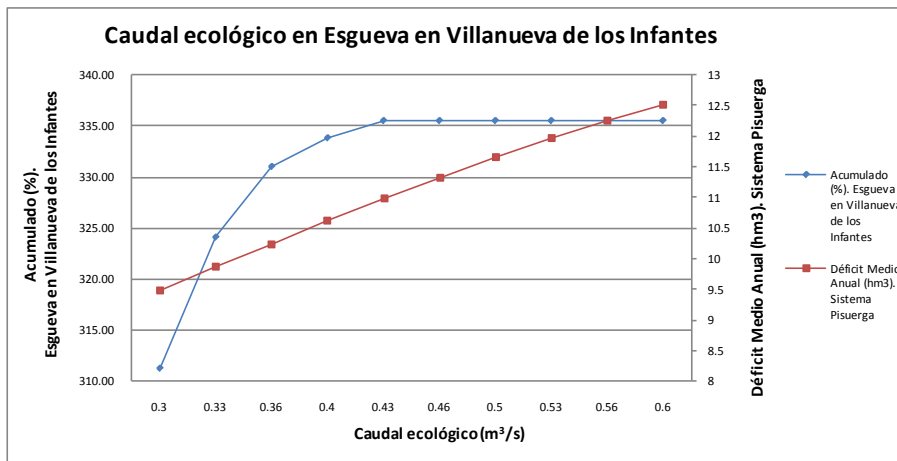


Figura 58. Efecto del caudal ecológico en el río Esgueva en Villanueva de los Infantes.

Ni los valores de demandas ni los de hábitat son alarmantes en ningún caso. En los menores caudales del rango de variación de caudal ecológico mínimo se produce una mayor mejoría de los resultados de hábitat, mientras que los déficits crecen linealmente. Se propone el tercer caudal del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Esgueva en Villanueva de los Infantes es de 0.3 m³/s.

- Adaja en Arévalo

El caudal ecológico mínimo en este tramo afecta positivamente al percentil 80 y al acumulado de las series de hábitat del propio tramo y de la bermejuela, y negativamente a los déficits en el sistema Adaja-Cega, incrementando los fallos en los criterios UTAH de la IPH y repercutiendo sensiblemente a escala de cuenca.

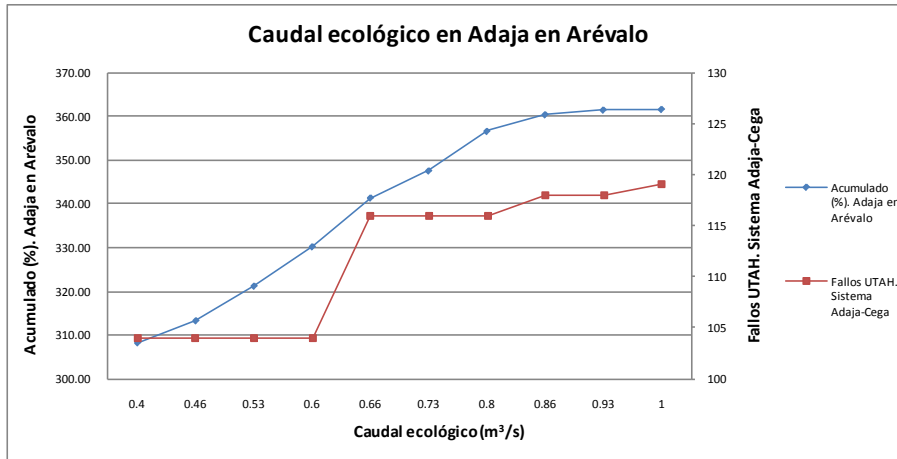


Figura 59. Efecto del caudal ecológico en el río Adaja en Arévalo.

Los resultados de hábitat afectados son buenos para cualquier valor (percentil 80 superior al 80% y acumulado superior al 300% en las series de hábitat de la Bermejuela y del Adaja en Arévalo). No así los de demandas, que son realmente malos. Aunque la mejora en los resultados de hábitat es apreciable, sobre todo en los de la serie del propio tramo, se propone el menor valor de caudal ecológico del rango para no empeorar más la difícil situación de las demandas del sistema.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Adaja en Arévalo es de 0.4 m³/s.

- Duratón aguas abajo de las Vencías

Incrementar el caudal ecológico mínimo en este tramo afecta positivamente al percentil 80 de las series de hábitat por tramo en el propio tramo y en Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo a menor escala, y también a los de las series de hábitat por especie del barbo, la trucha, la bermejuela y la boga del Duero.

Por el contrario afecta muy negativamente a las demandas del sistema Riaza, incrementando mucho los déficits y los fallos en los criterios de garantía hasta repercutir notablemente a nivel de cuenca.

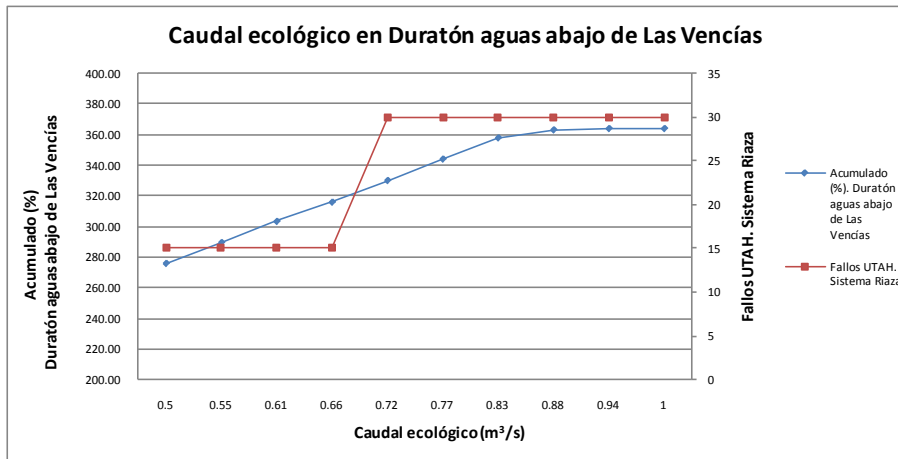


Figura 60. Efecto del caudal ecológico en el río Duratón aguas abajo de las Vencías.

Analizando gráficamente los dos resultados más representativos de las dos tendencias se acota el rango de caudales ecológico mínimo a los cuatro primeros valores del rango inicial, pues en ellos se puede conseguir una mejora de los resultados de hábitat aceptable aumentando los déficits en el sistema de manera leve y sin incrementar los fallos en los criterios de garantía en las demandas del sistema.

El óptimo orientativo de caudal ecológico mínimo en Duratón aguas abajo de las venciás va de 0.5 m3/s a 0.66 m3/s.

- Tormes aguas abajo de Almendra

Incrementos de caudal ecológico mínimo en este tramo provocan una gran mejoría de todos los resultados de la serie de hábitat del propio tramo, así como mejoras en el percentil 80 y acumulado de las series de hábitat del barbo, la boga del Duero, la bermejuela y el bordallo.

En sentido negativo afecta muy perjudicialmente a la producción de energía hidroeléctrica del sistema. Este descenso de la producción de energía hidroeléctrica constituye la afección más notable a la producción, en toda la cuenca.

Este efecto precisa de una explicación más extensa. La producción en la central de Villarino, en derivación al pie del embalse de Almendra, en el río Tormes antes de la confluencia con el Duero, representa una parte importante de la producción total. Además, la producción en esta central puede variar bastante a causa de la imposición o no de caudal ecológico en el tramo del río Tormes aguas abajo de Almendra, pues el caudal que pase por este tramo de río es caudal que se deja de turbinar en la central hidroeléctrica de Villarino. Como consecuencia, la variación en la producción de energía hidroeléctrica en la cuenca a causa de la imposición de caudal ecológico en tramos depende casi exclusivamente de la variación de la producción en esta central, y por tanto del caudal ecológico mínimo impuesto en el citado tramo.

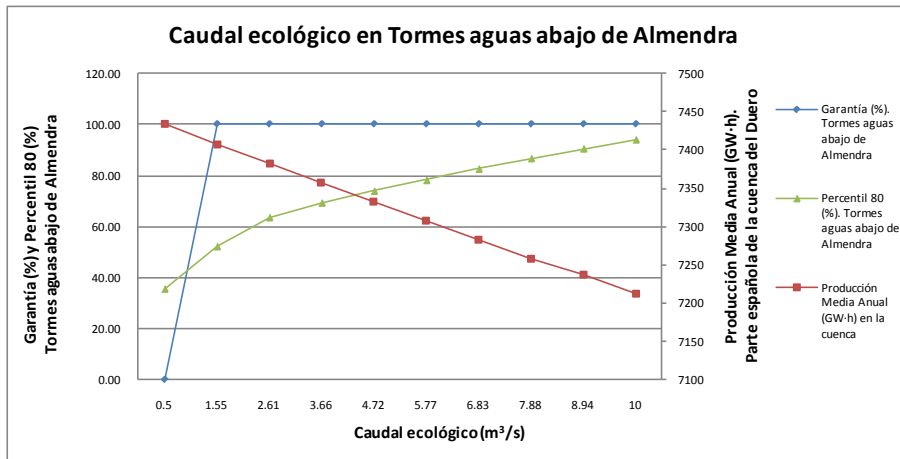


Figura 61. Efecto del caudal ecológico en el río Tormes aguas abajo de Almendra.

Las series de hábitat por especie tienen excelentes valores de percentil 80 y acumulado para cualquier caudal ecológico mínimo en este tramo. La serie de hábitat del propio tramo tiene resultados malos, pero con solo coger el segundo caudal del rango de validez se mejoran mucho, hasta el punto de pasar de una garantía del 0% al 100%. El percentil 80 y el acumulado de la serie de hábitat del tramo no sufren una mejoría tan brusca, pero sí que es importante.

Las variaciones de producción de energía hidroeléctrica en la cuenca se deben casi exclusivamente al valor de caudal ecológico en este tramo. En la situación plan se tiene una producción media anual de 7377 GW·h. Para mantener este valor se puede tomar hasta el segundo valor del rango de validez de caudal ecológico en este tramo.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Tormes aguas abajo de Almendra es de 2.61 m³/s.

- Duero después del río Riaza

Afecta negativamente a los déficits del sistema Alto Duero, aumentando los fallos UTAH de sus demandas. También aumenta los déficits de las demandas del sistema Riaza. Todos estos aumentos de déficits se ven reflejados a nivel de cuenca.

Las afecciones positivas del aumento del caudal ecológico mínimo en este tramo son el aumento, insignificante a escala de cuenca, de la producción hidroeléctrica en el sistema Alto Duero y mejoras en el acumulado de la serie de hábitat de Riaza aguas abajo de Linares del arroyo y en la garantía y la resiliencia de la serie de hábitat en Rituerto en Sauquillo de Boñices, aunque los valores de estas son excelentes para cualquier valor del caudal ecológico mínimo en el tramo.

Con ello, el único resultado mejorable que no es excelente o cuya influencia es insignificante para cualquier valor del caudal, es el acumulado de la serie de hábitat de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo.

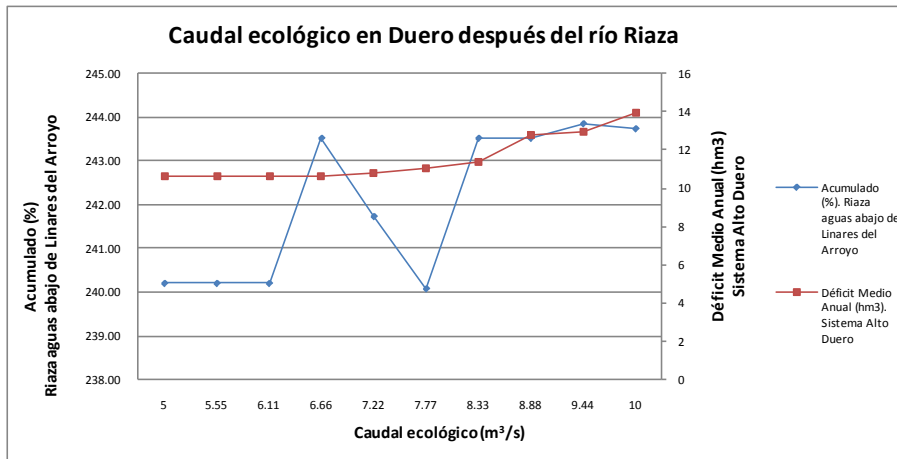


Figura 62. Efecto del caudal ecológico en el río Duero después del río Riiza.

Se propone como óptimo tras el análisis de la afección individual del caudal ecológico en este tramo el cuarto valor del rango inicial de validez. Además, este valor mantiene los fallos a las garantías de la IPH en el sistema Alto Duero en el valor mínimo posible, 26.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Duero después del río Riiza es de 6.66 m³/s.

- Tormes en Contienza y Tormes aguas abajo de Villagonzalo

El efecto del aumento de caudal ecológico mínimo en cualquiera de estos dos tramos es prácticamente el mismo, por lo que se estudiarán de manera conjunta.

Aumentos del caudal ecológico mínimo en estos tramos mejoran el percentil 80 y el acumulado de las series de hábitat en los mismos tramos, de la serie de hábitat del barbo y también de la de la boga de río. Sin embargo empeoran estos mismos resultados y la garantía de la serie de hábitat de Guareña en Toro. Además, el aumento del caudal ecológico en estos tramos incrementa mucho los déficits a demandas del sistema Tormes provocando más fallos en los criterios de garantía de éstas. También crecen los fallos en las demandas del sistema Bajo Duero (esta vez sin aumentos reseñables en los déficits de las demandas del sistema, por lo que se entiende que debe perjudicar a alguna demanda de poco peso dentro del sistema). Los aumentos de déficits y de fallos en las garantías son apreciables a escala de cuenca.

Como éstos son los únicos tramos en los que está presente la boga de río, variaciones en el caudal en este tramo provocan variaciones de magnitud en la serie de la especie a escala de cuenca. Sin embargo, como se puede observar en los gráficos del Anejo 1b, los resultados de la serie de hábitat de esta especie son excelentes para cualquier valor del caudal en estos tramos.

También son excelentes, sea cual sea el valor escogido del caudal ecológico mínimo en cualquiera de los dos tramos (por separado), los resultados de las series de hábitat de los propios tramos.

No así con los resultados de la serie de hábitat de Guareña en Toro, que se mueven en torno a valores bastante más modestos.

Así pues se deduce que eligiendo valores de caudal ecológico mínimo altos en estos tramos, solamente podemos mejorar resultados que van a ser excelentes con cualquier caudal, y podemos empeorar resultados bastante menos buenos (los del tramo de Guareña en Toro) y

aumentar de manera importante los déficits del sistema Tormes. Por ello, se eligen como óptimos los caudales menores de los rangos de validez en estos tramos.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Tormes aguas abajo de Villagonzalo es de 2.5 m³/s.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Tormes en Contiensa es de 4 m³/s.

- Duero en Peñafiel

Aumentar el caudal ecológico mínimo en este tramo produce algunas mejoras muy leves y también efectos negativos, alguno de ellos de gran magnitud.

Las mejoras son tres. Hace crecer la producción de energía hidroeléctrica en los sistemas de explotación Alto Duero y Riaza, sin repercusión a nivel de cuenca. Mejora levemente la garantía y la resiliencia de la serie de hábitat de Rituerto en Sauquillo de Boñices, aunque estos valores son ya de por sí muy buenos, y finalmente mejora de manera muy ligera el percentil 80 de la de Duratón aguas abajo de las Vencías, pudiendo pasar como máximo, de 70.7% a 73.1%.

Por contra, empeora un poco el acumulado en Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, que es un resultado no muy bueno ya que se mueve en torno al 230%, pero sobre todo hace crecer los déficits de las demandas de los sistemas Alto Duero y Riaza, incrementando los fallos en los criterios de garantía y repercutiendo en los déficits globales de la cuenca. Este último es, sin duda, el efecto más importante que produce el incremento de caudal ecológico mínimo en este tramo.

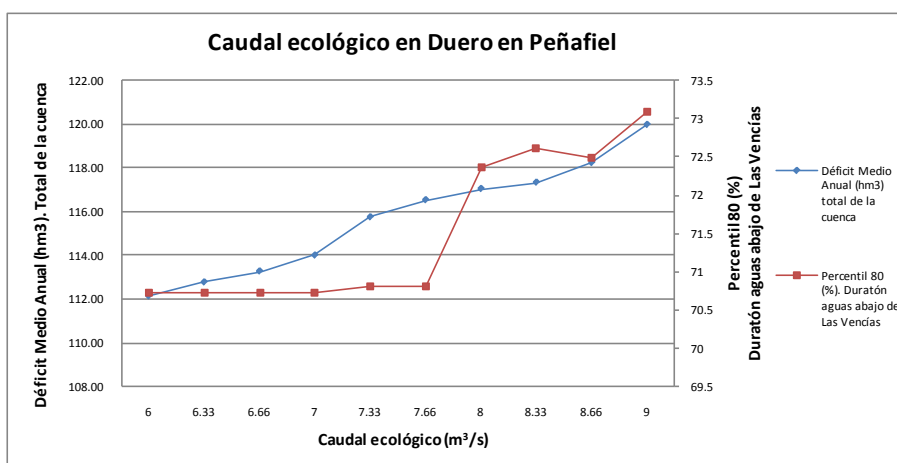


Figura 63. Efecto del caudal ecológico en el río Duero en Peñafiel.

Como se puede observar, las mejoras no empiezan a ser notables hasta el séptimo caudal del rango de validez. Para ese valor, los déficits en los sistemas Alto Duero y Riaza alcanzan valores tan altos que hacen aumentar el déficit medio anual de las demandas en la cuenca hasta los 117 hm³. Se elige como óptimo el menor caudal del rango.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Duero en Peñafiel es de 6 m³/s.

- Duero en Toro

Los resultados del análisis de la afección individual apuntan que la elección del caudal ecológico mínimo en este tramo será clave, pues afecta a una gran cantidad de demandas, aumentando los déficits a escala de cuenca.

Los efectos negativos del aumento de caudal ecológico mínimo en este tramo son el aumento de los déficits en las demandas de los sistemas Carrión, Alto Duero, Pisuega, Riaza, Arlanza y Bajo Duero, incrementándose los fallos en los criterios de garantía solamente en el sistema Riaza. Tanto aumento de déficit repercute ampliamente en los déficits medios de toda la cuenca. También se reduce ligeramente la producción de energía hidroeléctrica de las centrales de los sistemas Arlanza y Pisuega, y se empeora un poco el acumulado de la serie de hábitat del tramo Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, pudiendo pasar de 240% a 233%.

Los efectos positivos del aumento de caudal ecológico en el tramo son el aumento de producción en los sistemas Alto Duero, Riaza, Bajo Duero y Águeda, y mejoras en múltiples resultados de varias series de hábitat.

La influencia sobre la producción, si bien no es tan importante como la del caudal ecológico en Tormes aguas abajo de Almendra, puede llegar a hacer aumentar la producción media anual de la Cuenca desde 7434 GW·h hasta 7474 GW·h.

Respecto de las mejoras del hábitat, los incrementos del percentil 80 de la serie de la Boga del Duero, y del acumulado de las series del Barbo, de la Boga del Duero y de la Bermejuela, son muy pequeños y además estos resultados son siempre excelentes, pero que el efecto de este caudal sea notable en tantas series de hábitat tan acumuladas muestra su gran influencia en muchas de las series de hábitat no acumuladas de la cuenca.

También se mejoran levemente la garantía de la serie de hábitat en Rituerto en Sauquillo de Boñices y el acumulado de la del Carrión en Palencia. Las mejoras en la garantía de la serie de hábitat de Eresma en Segovia y el percentil 80 de la serie de Duratón aguas abajo de las Vencías también son leves, pero como estos resultados son modestos, estas mejoras son más importantes.

Pero la mejora del hábitat más importante que se produce es la de la serie de Guareña en Toro, pues se mejoran de manera sensible todos los resultados, que además son simplemente aceptables.

Para la decisión del óptimo se representan el acumulado de la serie de hábitat de Guareña en Toro y el déficit medio anual de las demandas de la cuenca.

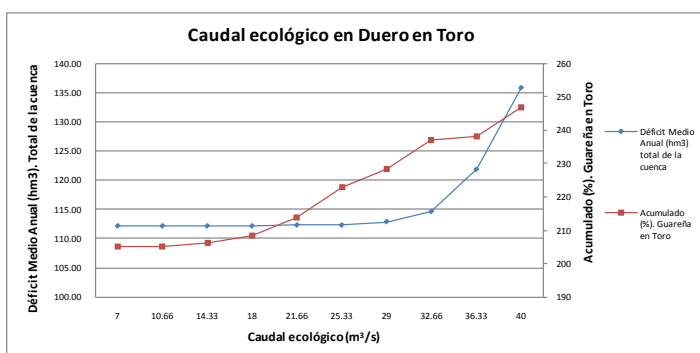


Figura 64. Efecto del caudal ecológico en el río Duero en Toro.

Se propone como óptimo el séptimo caudal del rango de validez, pues casi no hace aumentar el déficit y consigue mejoras del hábitat de cierta magnitud.

El caudal ecológico mínimo óptimo orientativo en Duero en Toro es de 29 m³/s.

A modo de resumen de lo hasta aquí expuesto se muestra la tabla siguiente:

Caudal ecológico mínimo en tramo	Rango inicial de validez (m ³ /s)	Nivel de afección	Afección positiva más destacable	Afección negativa más destacable	Rango de validez orientativo (m ³ /s)	Caudal ecológico óptimo orientativo (m ³ /s)
Duero en Toro	7 - 40	Muy alto	STH Guareña en Toro	Déficit medio anual total	7 - 29	29
Tormes aguas abajo de Almendra	0.5 - 10	Muy alto	STH Tormes aguas abajo de Almendra	Producción media anual total	1.55 - 2.61	2.61
Duero en Peñafiel	6 - 9	Muy alto	STH Duratón aguas abajo de Las Vencías. Percentil 80	Déficit medio anual total		6
Duero después del río Riaza	5 - 10	Alto	STH Riaza aguas abajo de Linares del arroyo. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Alto Duero	6.66 - 7.22	6.66
Tormes en Contienda	4 - 6	Alto	STH Tormes en Contienda. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Tormes		4
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	2.5 - 7	Alto	STH Tormes aguas abajo de Villagonzalo. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Tormes		2.5
Duratón aguas abajo de Las Vencías	0.5 - 1	Alto	STH Duratón aguas abajo de Las Vencías. Acumulado	Fallos UTAH. Sistema Riaza	0.5 - 0.66	0.66
Adaja en Arévalo	0.4 - 1	Medio	STH Adaja en Arévalo. Acumulado	Fallos UTAH. Sistema Adaja-Cega	0.4 - 0.6	0.4
Carrión en Palencia	2 - 4	Medio	STH Carrión en Palencia. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Carrión	2 - 2.88	2.66
Eresma en Segovia	0.1 - 0.5	Medio	STH Trucha. Acumulado	STH Eresma en Segovia	0.1 - 0.45	0.1
Esgueva en Villanueva de los Infantes	0.3 - 0.6	Medio	STH Esgueva en Villanueva de los Infantes. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Pisuerga	0.3 - 0.36	0.3
Órbigo en Cebrones	2.5 - 10	Medio		Déficit medio anual. Sistema Órbigo	2.5 - 3.33	2.5
Tera en Mozar de Valverde	3 - 6	Medio	STH Barbo. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Tera	3 - 3.33	3.33
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	0.1 - 0.5	Medio	STH Riaza aguas abajo de Linares del arroyo. Acumulado	Máximo déficit anual. Sistema Riaza		0.1
Voltoya en Coca	0.1 - 0.2	Medio	STH Voltoya en Coca. Acumulado			0.2
Águeda en Castillejo Martín Viejo	1 - 2	Bajo		STH Anguila	1 - 2	1.11
Duero en Aldeadávila	60 - 80	Bajo	STH Guareña en Toro			80
Duero en Garray	1 - 2	Bajo		Máximo déficit anual. Sistema Riaza		1
Esla en Villomar	3.5 - 7	Bajo	STH Órbigo. Acumulado			7
Guareña en Toro	0.5 - 1	Bajo		Fallos UTAH. Sistema Bajo Duero	0.5 - 0.66	0.5
Huebra en Puente Resbala	0.6 - 1.2	Bajo		Fallos UTAH. Sistema Águeda		0.6
Porma en Secos de Porma	1.5 - 6	Bajo	STH Porma en Secos de Porma. Acumulado			6
Tuerto antes de Duerna	0.1 - 2	Bajo	STH Tuerto antes de Duerna. Acumulado	Déficit medio anual. Sistema Órbigo	0.31 - 1.36	1.36

Tabla 55. Resumen del efecto individual de los regímenes ecológicos mínimos, ordenados de mayor a menor influencia.

Tras el análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos a las demandas, la producción hidroeléctrica y al hábitat se extrae como conclusión las siguientes ideas.

4.3.9. Conclusiones del análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos

La variación del caudal ecológico mínimo en nueve de los tramos no tiene consecuencias significativas en las demandas ni en la producción hidroeléctrica, tanto a nivel de cuenca como de sistema de explotación, ni sobre las series de hábitat por tramo o por especie en la cuenca.

Estos tramos son Arlanzón en Villasur de Herreros, Arlanza en Quintana del Puente, Esla en Bretó, Esla en Villalcampo, Pisuerga entre Arlanza y Carrión, Pisuerga en Herrera de Pisuerga, Rituerto en Sauquillo de Boñices, Valderaduey en Santervás de Campos y Zapardiel antes del Duero.

A excepción de los tramos del Esla, ninguno de estos tramos “no influyentes” tiene ningún tramo “influyente” aguas arriba. Se trata de tramos en ríos que abastecen bien a las demandas consuntivas y de producción hidroeléctrica sin afección importante del hábitat, o de tramos cercanos a las cabeceras de los que no dependen muchas demandas. La variación del caudal ecológico mínimo del tramo Esla en Villalcampo tiene poco efecto porque se trata de un embalse que siempre está lleno, por lo que el hábitat se mantiene en valores muy constantes y no afecta a demandas y producción.

La afección a la producción de energía hidroeléctrica se puede resumir en tres conceptos. La afección principal se localiza en el tramo Tormes aguas abajo de Almendra, ya que todo el caudal que circule por este tramo de simulación del hábitat deja de turbinarse en la central de Villarino. Esto puede penalizar la producción total en la cuenca en casi 200 GW·h/año. El otro tramo con una afección notoria en la producción a escala de cuenca es Duero en Toro. Es un tramo bajo de la cuenca, muy caudaloso. Valores elevados de caudal ecológico mínimo en este tramo pueden elevar la producción en hasta 100 GW·h/año, repartiéndose este aumento entre varias centrales. Por último comentar que la imposición de caudal ecológico mínimo en el resto de los tramos provoca generalmente leves aumentos de producción localizados en diversas centrales, respecto de la situación Plan.

En 5 de los 23 tramos en los que sí hay afección, se afectan exclusivamente resultados de hábitat. Estos son:

Águeda en Castillejo Martín Viejo. Único tramo de río en el que la anguila está presente. Afecta a su hábitat, pero éste se mantiene en todo momento en valores elevados.

Duero en Aldeadávila. Mejora el hábitat en varios tramos sin afección significativa a ninguna demanda.

Eresma en Segovia. Mejoran las series de hábitat del barbo y de la trucha a escala de cuenca. En cambio hace disminuir el hábitat en el propio tramo, ya de por sí bajo.

Porma en Secos de Porma. Aumenta el acumulado de la serie de hábitat del propio tramo. Éste resultado es elevado para cualquier valor.

Voltoya en Coca. Aumenta el percentil 80 y el acumulado de la serie de hábitat del propio tramo y de la Bermejuela.

En 5 de los 23 tramos en los que sí que afecta, la afección al hábitat es mínima y local, mientras que se afectan resultados de demandas, aumentando los déficits en todos ellos. Estos son:

Duero en Garray. Aumenta levemente los déficits en el sistema Rianza.

Guareña en Toro. Aumenta déficits en las demandas del sistema Bajo Duero, generando nuevos fallos de abastecimiento a demandas.

Huebra en Puente Resbala. Único tramo de río en el que la imposición de caudal ecológico mínimo provoca incrementos significativos de los déficits en las demandas del sistema Águeda. Se generan nuevos fallos de abastecimiento a demandas.

Órbigo en Cebrones. Imponer valores elevados de caudal ecológico en este tramo puede tener un impacto negativo importante sobre las demandas del sistema Órbigo.

Tuerto antes del Duerna. Los valores más altos de caudal ecológico en este tramo hacen crecer levemente los déficits de demandas del sistema Órbigo.

Los 13 tramos en los que el aumento de caudal ecológico mínimo afecta a tanto al hábitat⁵ como a demandas o producción⁶ son:

Adaja en Arévalo. Manteniendo este caudal en el mínimo del rango de validez se mantienen los déficits de las demandas del sistema Adaja-Cega, sin perjuicio grave de las series de hábitat acumuladas que se afectan. Los déficits de las demandas de este sistema sólo la varían si se varía el caudal ecológico mínimo en este tramo.

Carrión en Palencia. Afección a las demandas del sistema Carrión, y al hábitat del propio tramo.

Duero después del río Rianza. Puede aumentar los déficits de las demandas de los Sistemas Alto Duero y Rianza notablemente. Puede alcanzarse una solución de compromiso, en función de los resultados de hábitat afectados.

Duratón aguas abajo de las Vencías. Puede afectar muy negativamente a las demandas del sistema Rianza, pero su influencia sobre el hábitat es importante. Se entrevé la posibilidad de satisfacer parcialmente ambas posiciones.

Esgueva en Villanueva de los Infantes. Puede aumentar los déficits del sistema Pisuerga. El hábitat en el tramo es bueno, pero puede mejorar un poco.

Esla en Villomar. Aumentos del caudal ecológico mínimo en este tramo pueden reducir ligeramente déficits en demandas del sistema Órbigo, y mejorar levemente el hábitat del propio tramo.

⁵ Afección a series de hábitat por tramo y/o a series de hábitat por especies.

⁶ Afección a déficits a demandas y/o a producción de energía hidroeléctrica a escala de sistema de explotación o de cuenca.

Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo. Elevada influencia en el hábitat del propio tramo. Afección a las demandas del sistema Riaza.

Tera en Mozar de Valverde. Puede producir déficits de abastecimiento en las demandas del sistema Tera. Para evitarlo se debe tomar el menor valor del rango, o el segundo.

Tormes aguas abajo de Villagonzalo y Tormes en Contienda. Aumentos de caudal ecológico mínimo en cualquiera de los dos tramos tienen el mismo efecto positivo sobre el hábitat en ellos mismos, y sobre las series del barbo y de la boga común a escala de cuenca (la boga común solamente está presente en estos tramos). En cambio, empeoran el hábitat en Guareña en Toro. Hace aumentar los déficits de las demandas del sistema Tormes, y en menor medida en las del sistema Bajo Duero.

Por su gran influencia, la decisión del caudal ecológico mínimo en los tramos del Tormes y en Duero en Toro y Peñafiel merece mención aparte.

Duero en Peñafiel. El aumento del caudal ecológico mínimo en Duero en Peñafiel hace crecer los déficits en las demandas de los sistemas Alto Duero y Riaza, generando más fallos en los criterios de garantía. La afección a resultados de hábitat es leve, aumentándose el HPU de las series de Rituerto en Sauquillo de Boñices y en Duratón aguas abajo de las Vencías, y reduciéndose el de Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo.

Tormes aguas abajo de Almendra. La producción de energía hidroeléctrica se controla con el caudal mínimo en Tormes aguas abajo de Almendra. Caudales ecológicos altos reducen mucho la producción, y mejoran las series de hábitat por especie del barbo, la boga del Duero, la bermejuela y el bordallo y la serie de hábitat del propio tramo. Fijando el valor del caudal en el segundo o tercer valor del rango de validez, la producción no descendería mucho y el aumento del HPU sería considerable.

La fijación del caudal ecológico mínimo en este tramo está siendo sometida a un proceso de concertación especial que asegure la consecución máxima posible de los objetivos de las distintas partes.

Duero en Toro. Aumentando el caudal ecológico mínimo en Duero en Toro pueden crecer mucho los déficits de abastecimiento en las demandas de los sistemas Carrión, Alto Duero, Riaza, Arlanza y Bajo Duero, incrementándose los fallos en los criterios de garantía en demandas del sistema Riaza. También produce aumentos notables del HPU en algunas series de hábitat. Éste se refleja con mejoras en los resultados de hábitat de series por especie (Barbo, Boga del Duero y Bermejuela) y de series por tramo como Rituerto en Sauquillo de Boñices, Carrión en Palencia, Eresma en Segovia, Duratón aguas abajo de las Vencías y Guareña en Toro.

4.4. Optimización heurística de la imposición de regímenes ecológicos

En este apartado se pretende obtener la combinación más favorable de caudal ecológico mínimo en los 32 tramos de río que se estudian. Con esta combinación se debe maximizar la producción de hábitat potencial útil manteniendo los niveles de suministro a unidades de demanda agraria y generación de energía hidroeléctrica dentro de unos niveles preestablecidos.

Como su nombre indica, se trata de una optimización heurística, pues el criterio de caudales ecológicos no se incluye en la función objetivo del modelo de la cuenca, sino que se aumentan los regímenes de caudal ecológico en los tramos, en función de unas pautas que se deducen del análisis del efecto individual de cada régimen. Posteriormente se comprueba que los resultados de demandas y producción siguen siendo adecuados.

Del análisis del efecto individual de cada régimen ecológico se deduce qué caudales van a tener, a priori, una influencia mayor sobre las distintas variables estudiadas (demandas, producción de energía hidroeléctrica y producción de hábitat) a distintos niveles de agregación.

Como se comenta en ocasiones anteriores, este nivel de influencia solo se puede intuir, y no se puede afirmar con rotundidad como sería deseable, por la no linealidad de las funciones que gobiernan el funcionamiento de la cuenca modelada. Como consecuencia de la no linealidad de estas funciones, la respuesta a la imposición simultánea de caudal ecológico en distintos tramos no coincide necesariamente con la suma de las respuestas a la imposición de caudal ecológico mínimo en cada tramo por separado.

4.4.1. Estrategia del proceso de optimización

Para la obtención de la combinación óptima de caudal ecológico en tramos se sigue la siguiente estrategia.

1. Elección del orden en los tramos de caudal ecológico, para el aumento gradual del caudal ecológico mínimo en cada tramo.
2. Definición del umbral en los déficits de cada unidad de demanda agraria, que sea aceptable.
3. Combinación de inicio de caudal ecológico mínimo en tramos.
4. Aumento gradual del caudal ecológico mínimo del primer tramo de río, según el orden definido en el paso 1, hasta que algún déficit de alguna unidad de demanda agraria supere el umbral establecido en el paso 2, o hasta que se alcance el mayor caudal del rango de validez de caudal ecológico mínimo del tramo.
5. Si se ha superado el umbral de déficit, se reduce el caudal ecológico mínimo en el tramo al valor inmediatamente inferior al que produce el déficit inaceptable en una o varias unidades de demanda agraria.
6. Se repite el proceso con el segundo tramo de río de la jerarquía definida en el punto 1, y así sucesivamente para todos los tramos del análisis.

En cada tramo de caudal ecológico, se tiene un rango de valores de caudal entre los que puede variar el caudal ecológico mínimo (éste es un dato de partida del proyecto). Como se explica en el apartado 4.2.1.2. de este estudio, cada uno de estos rangos se discretiza en 10 valores de caudal ecológico mínimo válidos en cada tramo de río.

En cada ejecución de este proceso se analiza el valor de los déficits de 75 las unidades de demanda agraria que constan en el modelo. Se puede dar hasta un máximo de 320 iteraciones, pues cada tramo de caudal ecológico (32) puede tomar hasta un máximo de 10 valores de caudal ecológico mínimo.

Para abordar este procedimiento iterativo (cambio de limitaciones de caudal mínimo en tramos, llamada a SIMGES, análisis de resultados,...) se ha desarrollado una aplicación de Visual Basic con apoyo de una hoja de cálculo Excel que realiza las distintas llamadas a SIMGES y analiza los datos de déficits de las demandas para escoger la siguiente combinación de caudal ecológico mínimo en tramos. El esquema de esta aplicación es el siguiente:

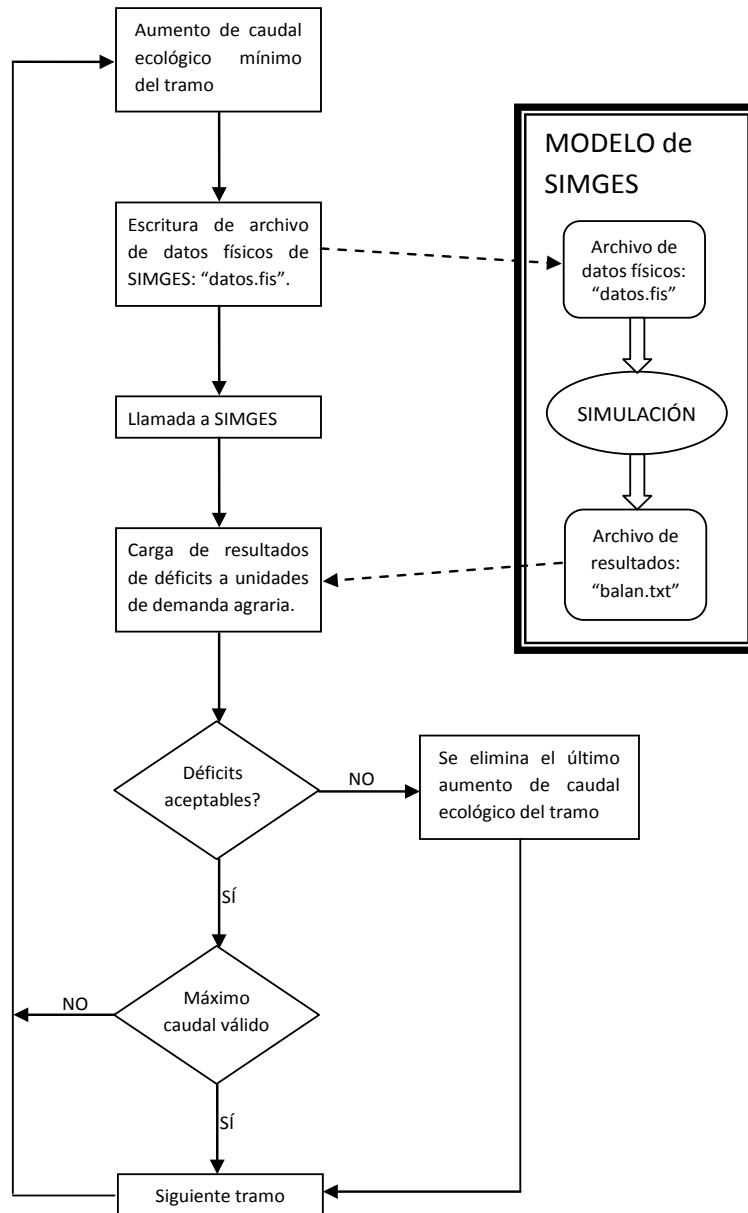


Figura 65. Diagrama para la aplicación de la optimización.

En este punto cabe plantearse por qué no se han tenido en cuenta los resultados de producción de energía hidroeléctrica que ofrece SIMGES a la hora de diseñar la aplicación que determine la combinación óptima de valores de caudal ecológico mínimo en tramos.

Como se comenta en el apartado 6.1. del presente estudio, el efecto individual de los regímenes ecológicos sobre la generación de energía hidroeléctrica en la cuenca puede resumirse en que con el aumento del caudal ecológico mínimo en el tramo Tormes aguas abajo de Almendra se puede penalizar en casi 200 GW·h/año la producción en la central de Villarino; con el aumento de caudal ecológico mínimo en el tramo del Duero en Toro, se puede incrementar la producción total de la cuenca en hasta 100 GW·h/año, repartidos en varias

centrales y la tendencia general en el efecto de los regímenes ecológicos en el resto de los tramos es a aumentar leve y localizadamente la producción hidroeléctrica. Todas estas variaciones se dan respecto de la situación Plan.

Por la singularidad y la relevancia del efecto del régimen de caudal ecológico mínimo en el tramo Tormes aguas abajo de Almendra, la determinación del mismo está siendo sometida a un proceso de concertación especial que proporcione la consecución máxima posible de los intereses de todas las partes.

Ante esta situación se opta por mantener en este tramo el mismo régimen de caudal ecológico mínimo que en la situación Plan. El régimen es el siguiente:

<u>Régimen de caudal ecológico en Tormes aguas abajo de Almendra (m³/s)</u>											
Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
1.87	1.87	1.81	1.87	2.17	2.16	2.41	2.13	2.26	2.56	2.54	2.01

Como el único caudal ecológico mínimo que afecta de forma negativa y significativa a la generación de energía hidroeléctrica es el de Tormes aguas abajo de Almendra, y éste se va a mantener en los mismos valores que en la situación Plan, se deduce que la afección sobre la producción va a ser nula, o positiva. Además, incluir el criterio de la producción hidroeléctrica en la aplicación para el proceso de optimización complicaría la programación de la misma e incrementaría el tiempo de ejecución del mismo, que ya sin tener en cuenta este aspecto ha sido de alrededor de 5 horas de computación, para cada ensayo.

De esta manera queda justificada la no inclusión del criterio de la producción de energía hidroeléctrica en el proceso de optimización.

Asimismo, no hay que perder de vista el objetivo que persigue todo este análisis, incrementar el hábitat en estos tramos de río. Las combinaciones de caudal ecológico en tramos que se generan producen déficits que se consideran aceptables, según el criterio definido. Por tanto, la elección final de la combinación más adecuada se basará en criterios de hábitat. Estos criterios de hábitat están presentes también en la elección del orden de aumento de los caudales ecológicos.

4.4.2. Desarrollo del proceso de optimización

Se ejecuta 6 veces la aplicación de optimización, partiendo siempre de la situación Base y con el mismo criterio de déficits, pero modificando el orden de los tramos para el aumento del caudal ecológico.

El criterio individual de déficits en cada unidad de demanda agraria se divide en dos pautas bien diferenciadas. En las unidades de demanda agraria cuyo suministro sufre fallos en la situación Base, según el criterio de fallo de la IPH para demandas agrarias, se admite un ligero incremento en la suma del máximo déficit anual, del máximo déficit de dos años consecutivos y del máximo déficit de 10 años consecutivos, respecto este mismo valor en la situación Base. Este incremento no generará más fallos en el criterio de suministro UTAH que la IPH fija para las demandas agrarias. En las unidades de demanda agraria sin fallos en la situación Base, se admiten incrementos en el déficit justo hasta los umbrales de fallo de suministro a demandas agrarias según el criterio de la IPH. Este criterio individual de definición de déficit aceptable y no aceptable es el mismo en todos los ensayos del proceso de optimización.

El orden de los evaluar tramos para el aumento de caudal ecológico, en cada uno de los 6 ensayos de la aplicación de optimización, se elabora con los siguientes criterios:

- Optim. 1: los tramos de caudal ecológico mínimo se ordenan de mayor a menor influencia en las demandas, producción de energía hidroeléctrica y hábitat, fijando el caudal ecológico mínimo al valor inferior del rango de variación en 4 tramos⁷, y desplazando la iteración en Duero en Toro al 11º lugar.
- Optim. 2: se ordenan de mayor a menor influencia, sin fijar el caudal ecológico mínimo en ningún tramo.
- Optim. 3: se ordenan de menor a mayor influencia, sin fijar previamente el caudal ecológico mínimo en ningún tramo.
- Optim. 4: el orden definido para este ensayo toma primero los tramos de caudal ecológico mínimo situados en los tramos de aguas abajo, más cercanos a la desembocadura de la cuenca. Este orden se define en 6 grupos de tramos, de aguas abajo a aguas arriba.
- Optim. 5: se incrementa primero el caudal ecológico en tramos de aguas arriba, más cercanos a las cabeceras, y se va descendiendo hacia la desembocadura de la cuenca.
- Optim. 6: de menor a mayor influencia, fijando previamente el caudal ecológico en los 4 tramos de río anteriormente citados al mínimo valor del rango de validez, y desplazando la iteración correspondiente al tramo Duero en Toro a la 17ª posición. Es el orden contrario al del ensayo Optim. 1.

La mayor o menor influencia en los resultados de la variación del caudal ecológico mínimo en un tramo se deduce del análisis de la afección de la imposición individual de caudal ecológico mínimo en tramos.

⁷ estos 4 tramos son Huebra en Puente Resbala, Duero en Peñafiel, Tormes aguas abajo de Villagonzalo y Tormes en Contienza.

De este análisis se deduce además que se debe prestar una atención especial al valor de caudal ecológico mínimo en el tramo Duero en Toro, pues es el tramo de caudal ecológico mínimo de mayor influencia en el aumento de déficits a unidades de demanda agraria, así como al valor de caudal ecológico mínimo en los 4 tramos citados anteriormente, pues se pueden producir resultados puntuales inaceptables en función de éstos. Para ello se diseñan los ensayos del proceso de optimización Optim. 1 y 6, que se corresponden con los ensayos Optim. 2 y 3 con ligeras variaciones que tienen en cuenta estos efectos. Recuérdese también que el régimen en Tormes aguas abajo de Almendra se ha fijado en los mismos valores que en la situación Plan. El orden de los tramos en los 6 ensayos iniciales es el siguiente (se sombrea en verde los tramos con caudal ecológico mínimo fijado previamente).

	Optim. 1	Optim. 2	Optim. 3	Optim. 4	Optim. 5	Optim. 6
1º	Duero después del río Riaza	Duero en Toro	Zapardiel antes del Duero	Duero en Aldeadávila	Adaja en Arévalo	Zapardiel antes del Duero
2º	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Duero en Peñafiel	Valderaduey en Santervás de Campos	Duero en Toro	Arlanzón en Villasur de Herreros	Valderaduey en Santervás de Campos
3º	Adaja en Arévalo	Duero después del río Riaza	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Duero en Peñafiel	Carrión en Palencia	Rituerto en Sauquillo de Boñices
4º	Carrión en Palencia	Tormes en Contienda	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Esla en Villalcampo	Duero en Garray	Pisuerga en Herrera de Pisuerga
5º	Eresma en Segovia	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Duero después del río Riaza	Eresma en Segovia	Pisuerga entre Arlanza y Carrión
6º	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Esla en Villalcampo	Esla en Bretó	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Esla en Villalcampo
7º	Órbigo en Cebrones	Adaja en Arévalo	Esla en Bretó	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Porma en Secos de Porma	Esla en Bretó
8º	Tera en Mozar de Valverde	Carrión en Palencia	Arlanza en Quintana del Puente	Arlanza en Quintana del Puente	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Arlanza en Quintana del Puente
9º	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Eresma en Segovia	Arlanzón en Villasur de Herreros	Huebra en Puente Resbala	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Arlanzón en Villasur de Herreros
10º	Voltoya en Coca	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Tuerto antes de Duerna	Órbigo en Cebrones	Tuerto antes de Duerna	Tuerto antes de Duerna
11º	Duero en Toro	Órbigo en Cebrones	Porma en Secos de Porma	Tera en Mozar de Valverde	Valderaduey en Santervás de Campos	Porma en Secos de Porma
12º	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Tera en Mozar de Valverde	Huebra en Puente Resbala	Tormes en Contienda	Voltoya en Coca	Guareña en Toro
13º	Duero en Aldeadávila	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Guareña en Toro	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Esla en Villomar
14º	Duero en Garray	Voltoya en Coca	Esla en Villomar	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Duero en Garray
15º	Esla en Villomar	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Duero en Garray	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Duero en Aldeadávila
16º	Guareña en Toro	Duero en Aldeadávila	Duero en Aldeadávila	Esla en Villomar	Esla en Villomar	Águeda en Castillejo Martín Viejo
17º	Porma en Secos de Porma	Duero en Garray	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Guareña en Toro	Guareña en Toro	Duero en Toro
18º	Tuerto antes de Duerna	Esla en Villomar	Voltoya en Coca	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Voltoya en Coca
19º	Arlanzón en Villasur de Herreros	Guareña en Toro	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Zapardiel antes del Duero	Zapardiel antes del Duero	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo
20º	Arlanza en Quintana del Puente	Huebra en Puente Resbala	Tera en Mozar de Valverde	Adaja en Arévalo	Arlanza en Quintana del Puente	Tera en Mozar de Valverde
21º	Esla en Bretó	Porma en Secos de Porma	Órbigo en Cebrones	Arlanzón en Villasur de Herreros	Huebra en Puente Resbala	Órbigo en Cebrones
22º	Esla en Villalcampo	Tuerto antes de Duerna	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Carrión en Palencia	Órbigo en Cebrones	Esgueva en Villanueva de los Infantes
23º	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Arlanzón en Villasur de Herreros	Eresma en Segovia	Duero en Garray	Tera en Mozar de Valverde	Eresma en Segovia
24º	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Arlanza en Quintana del Puente	Carrión en Palencia	Eresma en Segovia	Tormes en Contienda	Carrión en Palencia
25º	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Esla en Bretó	Adaja en Arévalo	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Duero después del río Riaza	Adaja en Arévalo
26º	Valderaduey en Santervás de Campos	Esla en Villalcampo	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Porma en Secos de Porma	Esla en Bretó	Duratón aguas abajo de Las Vencías
27º	Zapardiel antes del Duero	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Duero después del río Riaza
28º	Duero en Peñafiel	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Tormes en Contienda	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Duero en Peñafiel	Duero en Peñafiel
29º	Huebra en Puente Resbala	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Duero después del río Riaza	Tuerto antes de Duerna	Esla en Villalcampo	Huebra en Puente Resbala
30º	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Valderaduey en Santervás de Campos	Duero en Peñafiel	Valderaduey en Santervás de Campos	Duero en Aldeadávila	Tormes aguas abajo de Villagonzalo
31º	Tormes en Contienda	Zapardiel antes del Duero	Duero en Toro	Voltoya en Coca	Duero en Toro	Tormes en Contienda
32º	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes aguas abajo de Almendra	Tormes aguas abajo de Almendra

Tabla 56. Órdenes para el aumento del caudal ecológico mínimo en los ensayos de la optimización.

4.4.3. Resultados del proceso de optimización

La ejecución del proceso de optimización mediante la aplicación diseñada a tal efecto produce, para cada ensayo, una combinación de valores de caudal ecológico mínimo en los tramos de estudio. La evaluación del modelo de simulación de la cuenca con cada una de las combinaciones de regímenes ecológicos obtenidas genera unos valores de déficits a las 75 unidades de demanda agraria del modelo, y unos resultados de hábitat distintos.

Combinaciones resultantes y resultados de hábitat

En cada combinación de caudal ecológico mínimo en tramos se generan 284 series de hábitat no acumuladas, 125 series de hábitat por tramo y especie, 32 series de hábitat por tramo y 7 series de hábitat por especie. De cada una de estas series se analizan cuatro índices: garantía, resiliencia, acumulado y percentil 80 de superación de hábitat. Analizar ellos resultados de hábitat exhaustivamente supondría comparar 1792 resultados de seis combinaciones de caudal ecológico en tramos distintas, o incluso más, si se emplearan varios métodos de acumulación.

En general, se cumple que cuanto mayor es el caudal ecológico mínimo en el tramo, más hábitat potencial se genera. Basándonos en esta premisa se deduce un criterio simplificado para comparar resultados de hábitat obtenidos de distintas combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos, que se puede consultar en el apartado 4.3.3.5. de esta memoria.

Aplicando este criterio a las combinaciones de regímenes ecológicos obtenidas se pretende diseñar nuevos órdenes en los tramos de aumento de caudal ecológico mínimo con los que lanzar nuevamente el proceso de optimización sin tener que evaluar un volumen de información tan amplio. Ensayar el proceso de optimización con estos nuevos órdenes supondrá un refinamiento de la combinación de caudales ecológicos en tramos. Con ello se pretende una mayor consecución del objetivo del estudio. La evaluación del HPU producido en las combinaciones resultantes de los ensayos de refinamiento se hará de manera exhaustiva.

En la tabla siguiente se presentan las combinaciones de regímenes ecológicos en tramos obtenidas de cada ensayo del proceso de optimización, y su resultado de hábitat, según el criterio simplificado:

	Rango de validez		Optim. 1		Optim. 2		Optim. 3		Optim. 4		Optim. 5		Optim. 6	
	Qinf	Qsup	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden
Adaja en Arévalo	0.4	1	0.533	3	0.467	2	0.533	3	0.467	2	0.533	3	0.533	3
Águeda en Castillejo Martín Viejo	1	2	2	10	2	10	2	10	2	10	2	10	2	10
Arlanza en Quintana del Puente	2.5	3.5	3.5	10	3.5	10	3.5	10	3.5	10	3.5	10	3.5	10
Arlanzón en Villasur de Herreros	0.2	1	1	10	0.822	8	1	10	0.644	6	1	10	1	10
Carrión en Palencia	2	4	2.222	2	2.222	2	4	10	2	1	3.333	7	4	10
Duero después del río Ríaza	5	10	6.111	3	6.111	3	6.111	3	6.111	3	5.556	2	6.111	3
Duero en Aldeadávila	60	80	62.222	2	80	10	75.556	8	77.778	9	73.333	7	75.556	8
Duero en Garray	1	2	2	10	2	10	2	10	1.889	9	2	10	2	10
Duero en Peñafiel	6	9	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
Duero en Toro	7	40	18	4	29	7	25.333	6	29	7	18	4	21.667	5
Duratón aguas abajo de Las Vencías	0.5	1	0.611	3	0.611	3	0.611	3	0.611	3	0.667	4	0.611	3
Eresma en Segovia	0.1	0.5	0.322	6	0.144	2	0.367	7	0.233	4	0.322	6	0.367	7
Esgueva en Villanueva de los Infantes	0.3	0.6	0.3	1	0.3	1	0.3	1	0.3	1	0.3	1	0.3	1
Esla en Bretó	30	35	35	10	35	10	35	10	35	10	35	10	35	10
Esla en Villalcampo	25	30	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10

	Rango de validez		Optim. 1		Optim. 2		Optim. 3		Optim. 4		Optim. 5		Optim. 6	
	Qinf	Qsup	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden	m ³ /s	orden
Esla en Villomar	3.5	7	7	10	5.833	7	7	10	6.222	8	7	10	7	10
Guareña en Toro	0.5	1	0.944	9	0.833	7	0.944	9	0.556	2	0.944	9	0.944	9
Huebra en Puente Resbala	0.6	1.2	0.6	1	0.8	4	0.8	4	0.8	4	0.8	4	0.6	1
Órbigo en Cebrones	2.5	10	5	4	5.833	5	5	4	5	4	5	4	5	4
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	2	5	4.852	10	4.519	9	4.852	10	4.185	8	4.852	10	4.852	10
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	8	14	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10	14	10
Porma en Secos de Porma	1.5	6	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	0.1	0.5	0.189	3	0.1	1	0.144	2	0.1	1	0.144	2	0.144	2
Rituerto en Sauquillo de Boñices	0.1	0.4	0.4	10	0.4	10	0.4	10	0.4	10	0.4	10	0.4	10
Tera en Mozar de Valverde	3	6	6	10	6	10	6	10	5	7	6	10	6	10
Tormes aguas abajo de Almendra	0.5	10	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	2.5	7	2.5	1	5	6	5	6	5	6	5	6	2.5	1
Tormes en Contienza	4	6	4	1	4.667	4	4.667	4	4.667	4	4.667	4	4	1
Tuerto antes de Duerna	0.1	2	2	10	1.578	8	2	10	2	10	2	10	2	10
Valderaduey en Santervás de Campos	0.05	0.2	0.2	10	0.2	10	0.2	10	0.2	10	0.2	10	0.2	10
Voltoya en Coca	0.1	0.2	0.2	10	0.167	7	0.2	10	0.2	10	0.2	10	0.2	10
Zapardiel antes del Duero	0.3	0.5	0.5	10	0.5	10	0.5	10	0.5	10	0.5	10	0.5	10
					200		192		216		185		209	215

Tabla 57. Combinaciones de regímenes ecológicos resultantes de la optimización. Criterio simplificado de evaluación del hábitat.

Quedan fuera de la aplicación del criterio los cinco tramos cuyos caudales ecológicos se fijan previamente en alguno de los órdenes ensayados, es decir, no se ha sumado el ordinal del caudal ecológico mínimo de estos tramos. Estos tramos se somborean en verde.

Los mejores resultados corresponden ensayo Optim. 3, en el que se aumenta primero el valor del caudal ecológico mínimo de los tramos de menor influencia, después los del ensayo Optim. 6, cuyo orden de aumento de caudal ecológico mínimo de tramos es de menor influencia a mayor influencia, desplazando el aumento del caudal ecológico mínimo de Duero en Toro al 17º lugar y fijando el caudal ecológico mínimo en 4 tramos al valor inferior del propio rango. Que la combinación de caudal ecológico mínimo en tramos resultante del ensayo Optim. 3 produzca mejores resultados de hábitat que la resultante del ensayo Optim. 6 indica que las modificaciones que se incluyen en el ensayo Optim. 6 (fijar el caudal ecológico mínimo en los 4 tramos especificados, y desplazar el aumento del caudal del tramo Duero en Toro) no aportan los efectos pretendidos.

El tercer resultado de hábitat más alto, según el criterio simplificado, lo proporciona el ensayo del proceso de optimización Optim.5, en el que el valor de caudal ecológico mínimo en los tramos se aumenta de tramos de aguas arriba a aguas abajo.

Resultados de déficits a demandas

Los resultados de déficits a unidades de demanda agraria que se generan con las combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos obtenidas son siempre aceptables, pues se ha impuesto un criterio individual de déficits para cada unidad de demanda agraria. Sin embargo, este criterio no limita la aparición de déficits que generen nuevos fallos en los criterios de garantía de suministro a demandas. La aparición de estos nuevos fallos de suministro a unidades de demanda agraria es consecuencia de la simulación de la imposición

de los regímenes de caudal ecológico para años medios, durante periodos de sequía. No es objetivo del presente proyecto el diseño de los regímenes de caudal ecológico mínimo para años secos⁸.

Pese a ello, se citan las unidades de demanda agraria que, siendo suministradas sin fallos en la situación Base, se verían afectadas más severamente en épocas de escasez con las combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos obtenidas. También se expone en qué tramos de simulación del hábitat se deben aplicar las reducciones de caudal ecológico mínimo para atenuar los efectos.

- Optim. 1: DA 6046 RP Río Guareña.
- Optim. 2: DA 6046 RP Río Guareña y DA 6066 RP Cabecera Río Yeltes.
- Optim. 3: DA 6046 RP Río Guareña y DA 6066 RP Cabecera Río Yeltes.
- Optim. 4: DA 6054 DA 6054 Riegos del Duratón y DA 6066 RP Cabecera Río Yeltes.
- Optim. 5: DA 6046 RP Río Guareña, DA 6054 Riegos del Duratón y DA 6066 RP Cabecera Río Yeltes.
- Optim. 6: DA 6046 RP Río Guareña.

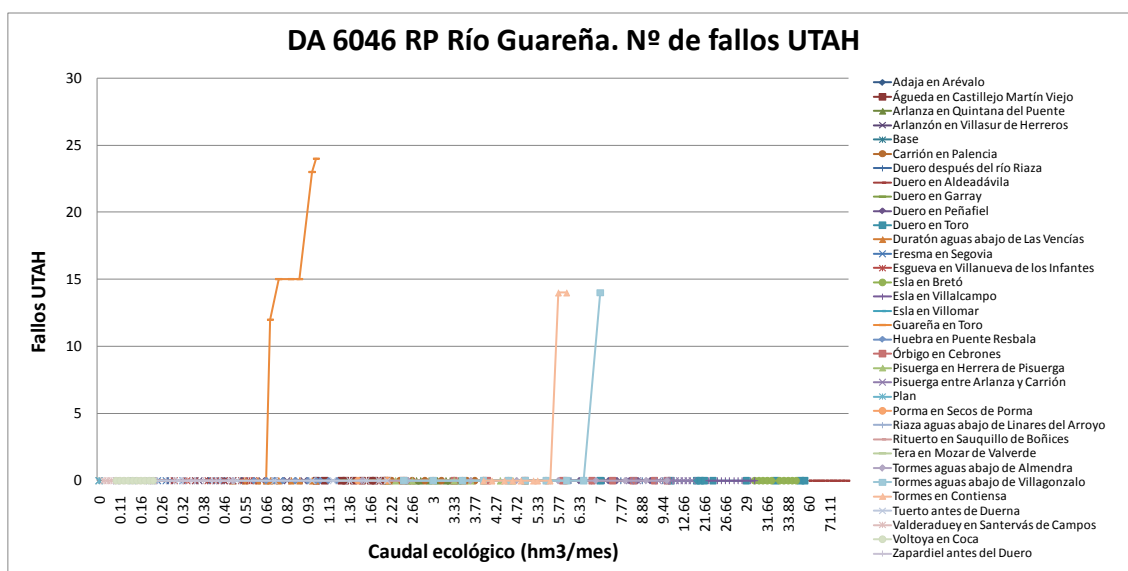


Figura 66. Efecto sobre los fallos de suministro en la UDA RP Río Guareña.

La imposición individual de caudal ecológico mínimo en los tramos Guareña en Toro, Tormes en Contienza y Tormes en Villagonzalo provoca fallos de suministro a la UDA 6046 RP Río Guareña. En la situación Base no hay fallos de suministro a esta UDA.

⁸ En el periodo de simulación del modelo de la cuenca existen temporadas de sequía, para las cuales, según la IPH, las exigencias de caudal ecológico mínimo deben reducirse a regímenes que aseguren el 25% de hábitat potencial útil de la especie crítica, cuya curva HPU-Q es la más desfavorable de las curvas de las especies presentes en el tramo.

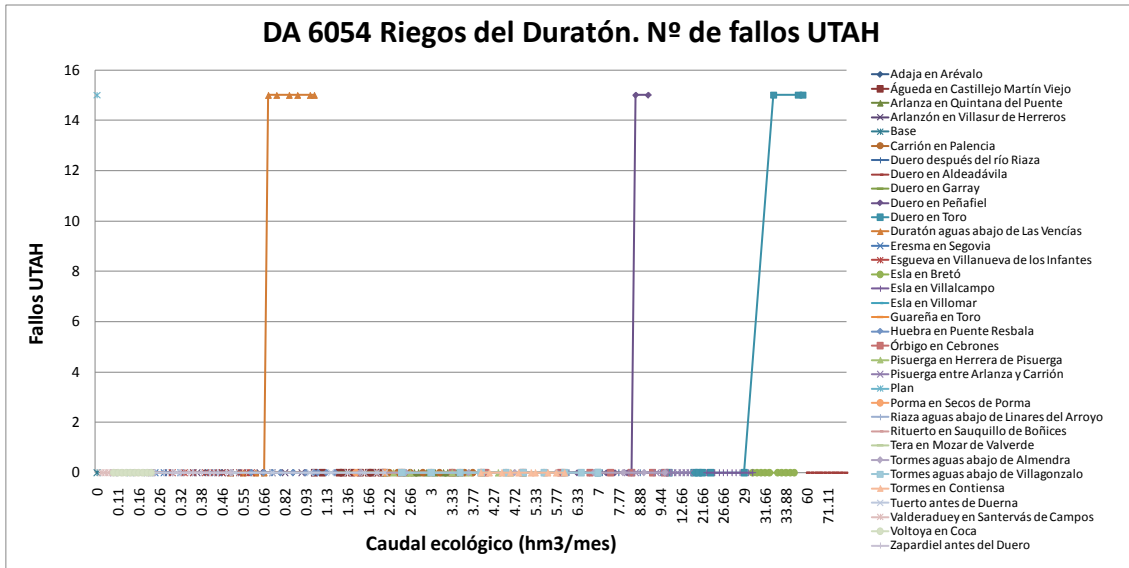


Figura 67. Efecto sobre los fallos de suministro en la UDA Riegos del Duratón.

Los fallos UTAH en la UDA 6054 Riegos del Duratón aparecen cuando el caudal ecológico mínimo en los tramos Duratón aguas abajo de las Vencías, Duero en Peñafiel o Duero en Toro no es el valor inferior del correspondiente rango de validez, en el análisis de la afección de la imposición individual.

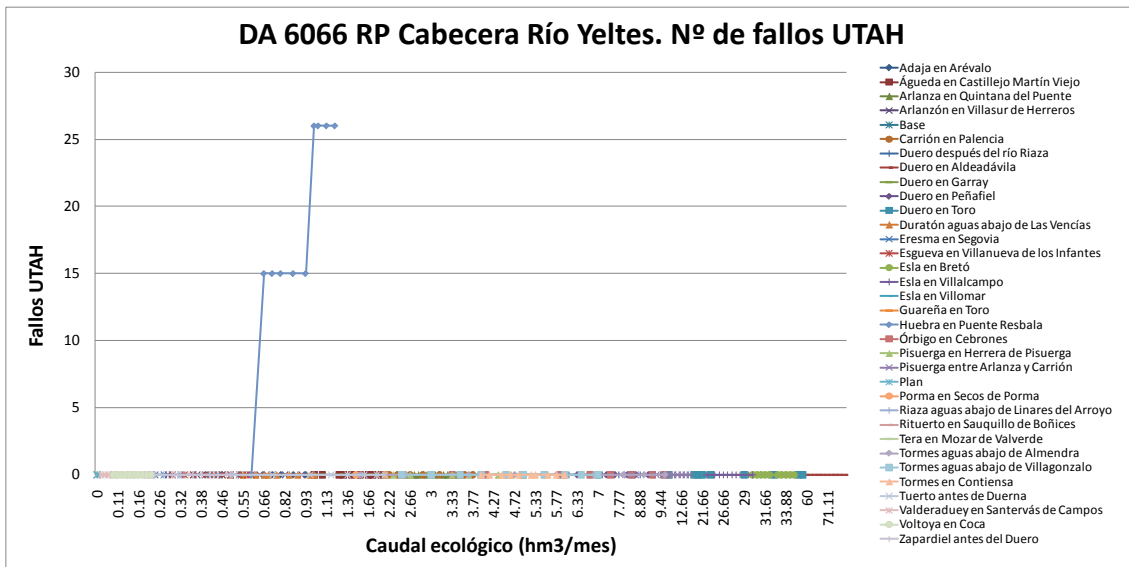


Figura 68. Efecto sobre los fallos de suministro en la UDA RP Cabecera del Río Yeltes.

Los fallos de suministro a la UDA 6066 RP Cabecera del Río Yeltes aparecen cuando el caudal ecológico mínimo en el tramo Huebra en Puente Resbala es superior al menor valor de caudal del rango de validez del tramo.

Recordemos que estas deducciones pueden variar si la variación simultánea del caudal ecológico mínimo en varios tramos tiene sinergias.

4.4.4. Refinamiento de la optimización

Tras el análisis de los resultados de la optimización se considera la realización de un refinamiento de ésta mediante nuevos ensayos del proceso de optimización en los que se introducirán especificaciones basadas en las deducciones del citado análisis.

Desarrollo del refinamiento de la optimización

Se ejecutará la aplicación de optimización 2 veces más. En ambas se partirá de la situación Base.

El criterio individual de definición de déficit aceptable y no aceptable será muy similar al de los ensayos iniciales. En las unidades de demanda agraria cuyo suministro sufre fallos de suministro en la situación Base, según el criterio de la IPH para demandas agrarias, se admite el mismo incremento que se admitía en la batería 1 en la suma del máximo déficit anual, del máximo déficit de dos años consecutivos y del máximo déficit de 10 años consecutivos, respecto de la suma de estos déficits en la situación Base. En las unidades de demanda agraria sin fallos en la situación Base, se admiten incrementos en el déficit más ajustados a los umbrales de fallo a suministro agrario según el criterio de la IPH de los que se admitían en los ensayos anteriores.

Los órdenes de aumento de caudal ecológico mínimo en tramos se basarán en los siguientes criterios:

- Optim. 2.1: tramos de menor a mayor influencia. Es el mismo orden que el ensayo Optim. 3.
- Optim. 2.2: tramos de aguas arriba a aguas abajo. Para decidir qué tramos están más aguas arriba o aguas abajo se clasifican en 6 grupos. Dentro de cada grupo, los tramos se ordenarán de menor a mayor influencia, a diferencia del ensayo Optim. 5, en el cual, dentro de cada grupo se ordenaban de manera aleatoria.

El orden de aumento de caudal ecológico mínimo en los tramos en los ensayos del refinamiento de la solución óptima es el siguiente:

	Optim. 2.1	Optim. 2.2
1º	Zapardiel antes del Duero	Valderaduey en Santervás de Campos
2º	Valderaduey en Santervás de Campos	Rituerto en Sauquillo de Boñices
3º	Rituerto en Sauquillo de Boñices	Pisuerga en Herrera de Pisuerga
4º	Pisuerga en Herrera de Pisuerga	Arlanzón en Villasur de Herreros
5º	Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Tuerto antes de Duerna
6º	Esla en Villalcampo	Porma en Secos de Porma
7º	Esla en Bretó	Duero en Garray
8º	Arlanza en Quintana del Puente	Voltoya en Coca
9º	Arlanzón en Villasur de Herreros	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo
10º	Tuerto antes de Duerna	Eresma en Segovia
11º	Porma en Secos de Porma	Carrión en Palencia
12º	Huebra en Puente Resbala	Adaja en Arévalo
13º	Guareña en Toro	Zapardiel antes del Duero
14º	Esla en Villomar	Guareña en Toro
15º	Duero en Garray	Esla en Villomar
16º	Duero en Aldeadávila	Águeda en Castillejo Martín Viejo
17º	Águeda en Castillejo Martín Viejo	Esgueva en Villanueva de los Infantes
18º	Voltoya en Coca	Duratón aguas abajo de Las Vencías
19º	Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	Tormes aguas abajo de Villagonzalo
20º	Tera en Mozar de Valverde	Arlanza en Quintana del Puente
21º	Órbigo en Cebrones	Huebra en Puente Resbala
22º	Esgueva en Villanueva de los Infantes	Tera en Mozar de Valverde
23º	Eresma en Segovia	Órbigo en Cebrones
24º	Carrión en Palencia	Tormes en Contienda
25º	Adaja en Arévalo	Pisuerga entre Arlanza y Carrión
26º	Duratón aguas abajo de Las Vencías	Esla en Bretó
27º	Tormes aguas abajo de Villagonzalo	Duero después del río Riaza
28º	Tormes en Contienda	Tormes aguas abajo de Almendra

	Optim. 2.1	Optim. 2.2
29º	Duero después del río Riaza	Esla en Villalcampo
30º	Duero en Peñafiel	Duero en Peñafiel
31º	Tormes aguas abajo de Almendra	Duero en Aldeadávila
32º	Duero en Toro	Duero en Toro

Tabla 58. Órdenes para el aumento del caudal ecológico mínimo en los ensayos del refinamiento.

Resultados del refinamiento

Resultados de déficits a demandas

Los déficits que se generan con las combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos son aceptables, pues cumplen el criterio de déficits aceptables impuesto.

En el ensayo Optim 2.1 no aparecen nuevos fallos de suministro a unidades de demanda agraria, respecto de los que ya existían en la situación Base. En cambio, la simulación del modelo del sistema de recursos hídricos imponiendo los caudales ecológicos mínimos obtenidos con el ensayo Optim. 2.2 devuelve fallos de suministro a la unidad DA 6046 RP Río Guareña, unidad de demanda agraria que se suministra sin fallos en la situación Base. Como se comenta anteriormente, la aparición de fallos de suministro en DA 6046 RP Río Guareña se debe al aumento de caudal ecológico mínimo en los tramos Guareña en Toro, Tormes en Contienza y Tormes en Villagonzalo. Estos nuevos fallos de suministro son resultado de la aplicación en temporadas de sequía, de regímenes de caudal ecológico mínimo en tramos para años medios. La aplicación de los regímenes de caudal ecológico mínimo para años de sequía deberá eludir la aparición de estos fallos de suministro.

Aunque esta nueva unidad de demanda agraria con fallos de suministro respecto de la situación Base no suponga ningún contratiempo, se diseñará una nueva combinación de regímenes de caudal ecológico mínimo en tramos basada en la resultante del ensayo Optim. 2.2 para mantenerla sin fallos de suministro. Para ello se reducirá el caudal ecológico mínimo en el tramo de Guareña en Toro del 4º al 2º caudal del rango de validez, pues de los tres tramos en los que la imposición de caudal ecológico mínimo tiene influencia en la aparición de fallos en esta unidad de demanda agraria, es el que menor influencia tiene en los resultados de hábitat de la cuenca. Esta nueva combinación de regímenes se llamará Optim. 2.3.

Combinaciones resultantes

	Rango de validez		Optim. 2.1		Optim. 2.2		Optim. 2.3	
	Qinf	Qsup	m3/s	ordinal	m3/s	ordinal	m3/s	ordinal
Adaja en Arévalo	0.4	1	0.533	3	0.533	3	0.533	3
Águeda en Castillejo Martín Viejo	1	2	2	10	2	10	2	10
Arlanza en Quintana del Puente	2.5	3.5	3.5	10	3.5	10	3.5	10
Arlanzón en Villasur de Herreros	0.2	1	1	10	1	10	1	10
Carrión en Palencia	2	4	4	10	4	10	4	10
Duero después del río Riaza	5	10	6.111	3	6.111	3	6.111	3
Duero en Aldeadávila	60	80	75.556	8	75.556	8	75.556	8
Duero en Garray	1	2	2	10	2	10	2	10
Duero en Peñafiel	6	9	6	1	6	1	6	1
Duero en Toro	7	40	25.333	6	25.333	6	25.333	6
Duratón aguas abajo de Las Vencías	0.5	1	0.611	3	0.611	3	0.611	3
Eresma en Segovia	0.1	0.5	0.367	7	0.367	7	0.367	7
Esgueva en Villanueva de los Infantes	0.3	0.6	0.3	1	0.3	1	0.3	1
Esla en Bretó	30	35	35	10	35	10	35	10
Esla en Villalcampo	25	30	30	10	30	10	30	10
Esla en Villomar	3.5	7	7	10	7	10	7	10
Guareña en Toro	0.5	1	0.667	4	0.667	4	0.556	2
Huebra en Puente Resbala	0.6	1.2	0.6	1	0.6	1	0.6	1
Órbigo en Cebrones	2.5	10	5	4	5	4	5	4
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	2	5	4.852	10	4.852	10	4.852	10
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	8	14	14	10	14	10	14	10
Porma en Secos de Porma	1.5	6	6	10	6	10	6	10
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	0.1	0.5	0.144	2	0.144	2	0.144	2
Rituerto en Sauquillo de Boñices	0.1	0.4	0.4	10	0.4	10	0.4	10
Tera en Mozar de Valverde	3	6	6	10	6	10	6	10
Tormes aguas abajo de Almendra	0.5	10	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan	Plan
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	2.5	7	4.5	5	5	6	5	6
Tormes en Contiensa	4	6	4	1	4.667	4	4.667	4
Tuerto antes de Duerna	0.1	2	2	10	2	10	2	10
Valderaduey en Santervás de Campos	0.05	0.2	0.2	10	0.2	10	0.2	10
Voltoya en Coca	0.1	0.2	0.2	10	0.2	10	0.2	10
Zapardiel antes del Duero	0.3	0.5	0.5	10	0.5	10	0.5	10
			219		223		221	

Tabla 59. Combinaciones de regímenes ecológicos resultantes del refinamiento de la optimización. Criterio simplificado de evaluación del hábitat.

Como puede observarse, las combinaciones de regímenes de caudal ecológico mínimo obtenidas de los ensayos del refinamiento de la solución óptima son muy similares. Entre las combinaciones 2.1 y 2.2 solamente existen diferencias en los caudales ecológicos a imponer en los tramos Tormes en Contiensa y Tormes aguas abajo de Villagonzalo, que son mayores en la 2.2. La diferencia entre las combinaciones resultantes de los ensayos 2.2 y 2.3 es el caudal ecológico mínimo en Guareña en Toro, que en la combinación del ensayo 2.3 es el 2º mientras que en la del ensayo 2.2 es el 4º.

Atendiendo al criterio simplificado de evaluación del hábitat mínimo, la mejor combinación de caudal ecológico mínimo en tramos es la resultante del ensayo 2.2 (aunque esta genera fallos de suministro en UDA que se suministran sin fallos en la situación Plan y en la Base), seguida de la 2.3 y después, la de 2.1.

Resultados de producción hidroeléctrica

Los resultados de producción de energía hidroeléctrica asociados a cada combinación de caudal ecológico mínimo obtenida de los ensayos del proceso de refinamiento son los siguientes:

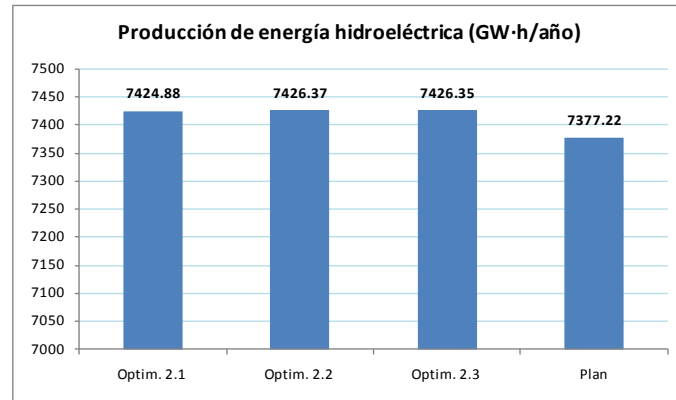


Figura 69. Producción media anual de energía hidroeléctrica en los ensayos del refinamiento de la optimización

Con cualquier combinación de caudales ecológicos mínimo en tramos se obtiene una producción anual media en la cuenca superior en alrededor de 50 GW·h/año superior a la que se obtiene en la situación Plan.

Resultados de hábitat. Análisis detallado

Al igual que en combinaciones de caudal ecológico mínimo anteriores (Plan i Base), se va a analizar los resultados de hábitat globales (series de hábitat por tramo y series de hábitat por especie) acumulados por los métodos promedio de porcentaje ponderado y por mínimos. También se mostrarán las series de hábitat de detalle acumuladas por promedio de porcentaje ponderado que no cumplen el criterio de garantía que se ha establecido para el hábitat. Los resultados globales de hábitat acumulados mediante el método promedio de porcentaje ponderado que se producen con estas combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos, son los siguientes:

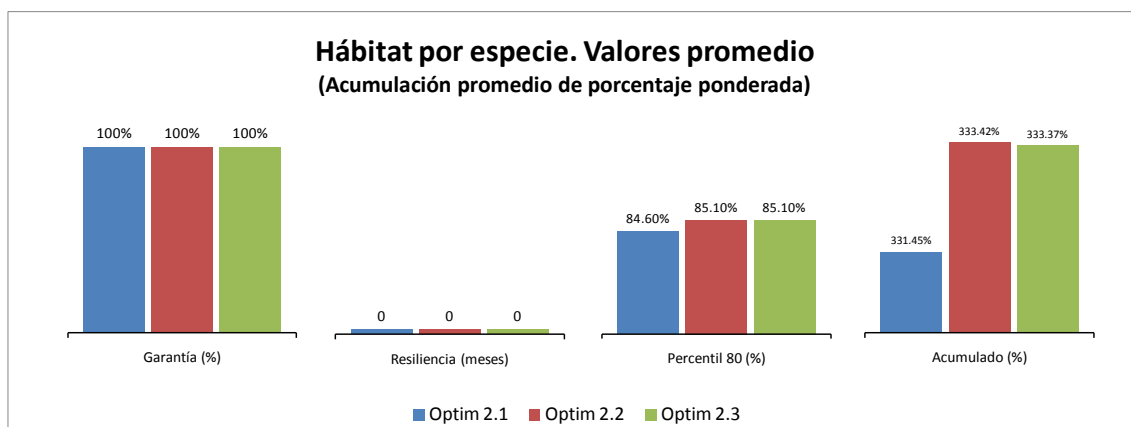


Figura 70. Índices de hábitat de series por especie del refinamiento de la optimización. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Barbo	100	100	100	0	0	0	80.00	80.20	80.18	313.12	313.89	313.87
Trucha	100	100	100	0	0	0	73.49	73.62	73.62	283.10	283.23	283.23
Boga Duero	100	100	100	0	0	0	92.31	92.39	92.40	366.04	366.30	365.94
Bermejuela	100	100	100	0	0	0	86.82	86.84	86.84	342.22	342.42	342.42
Bordallo	100	100	100	0	0	0	73.06	73.06	73.06	283.95	283.95	283.95
Boga de río	100	100	100	0	0	0	88.46	91.49	91.49	349.49	361.93	361.93
Anguila	100	100	100	0	0	0	98.09	98.09	98.09	382.22	382.22	382.22
Promedio	100	100	100	0	0	0	84.60	85.10	85.10	331.45	333.42	333.37

Tabla 60. Índices de hábitat de series por especie del refinamiento de la optimización. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Todos los resultados de hábitat de las series por especie son excelentes. El mejor de ellos es el que se produce con la combinación de caudales ecológicos resultante del ensayo Optim. 2.2, aunque de manera muy leve.

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Adaja en Arévalo	100	100	100	0	0	0	82.41	82.41	82.41	320.99	320.99	320.99
Águeda en Castillejo Martín Viejo	100	100	100	0	0	0	90.84	90.84	90.84	360.28	360.28	360.28
Arlanza en Quintana del Puente	100	100	100	0	0	0	92.99	92.99	92.99	369.41	369.41	369.41
Arlanzón en Villasur de Herreros	99.04	99.04	99.04	2	2	2	81.93	81.93	81.93	325.97	325.97	325.97
Carrión en Palencia	100	100	100	0	0	0	87.29	87.29	87.29	343.43	343.43	343.43
Duero después del río Rianza	100	100	100	0	0	0	95.68	95.68	95.68	370.00	370.00	370.00
Duero en Aldeadávila	100	100	100	0	0	0	93.71	93.71	93.71	370.64	370.64	370.64
Duero en Garray	100	100	100	0	0	0	95.85	95.85	95.85	382.14	382.14	382.14
Duero en Peñafiel	100	100	100	0	0	0	65.66	65.66	65.66	256.82	256.82	256.82
Duero en Toro	100	100	100	0	0	0	75.22	75.22	75.22	292.32	292.32	292.32
Duración aguas abajo de Las Vencías	100	100	100	0	0	0	77.20	77.20	77.20	303.88	303.88	303.88
Eresma en Segovia	77.88	77.88	77.88	6	6	6	28.37	28.37	28.37	28.37	28.37	28.37
Esgueva en Villanueva de los Infantes	100	100	100	0	0	0	77.82	77.82	77.82	311.26	311.26	311.26
Esla en Bretó	100	100	100	0	0	0	96.28	96.28	96.28	382.48	382.48	382.48
Esla en Villalcampo	100	100	100	0	0	0	89.72	89.72	89.72	351.96	351.96	351.96
Esla en Villomar	100	100	100	0	0	0	72.38	72.38	72.38	250.78	250.78	250.78
Guareña en Toro	96.47	96.47	96.47	2	2	2	67.05	67.05	67.05	215.17	211.28	212.68
Huebra en Puente Resbala	100	100	100	0	0	0	96.26	96.26	96.26	368.53	368.53	368.53
Órbigo en Cebrones	100	100	100	0	0	0	73.69	73.69	73.69	291.53	291.53	291.53
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	100	100	100	0	0	0	73.11	73.11	73.11	289.66	289.66	289.66
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	100	100	100	0	0	0	84.68	84.68	84.68	333.51	333.51	333.51
Porma en Secos de Porma	100	100	100	0	0	0	85.68	85.68	85.68	339.75	339.75	339.75
Rianza aguas abajo de Linares del Arroyo	100	100	100	0	0	0	72.64	72.64	72.64	263.85	263.85	263.85
Rituerto en Sauquillo de Boñices	99.04	99.04	99.04	3	3	3	84.40	84.40	84.40	324.77	324.77	324.77
Tera en Mozar de Valverde	100	100	100	0	0	0	73.81	73.81	73.81	286.54	286.54	286.54
Tormes aguas abajo de Almendra	100	100	100	0	0	0	55.83	55.83	55.83	222.43	222.43	222.43
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	100	100	0	0	0	93.95	96.25	96.25	370.92	380.95	380.95
Tormes en Contienda	100	100	100	0	0	0	84.21	86.98	86.98	336.84	347.90	347.90
Tuerto antes de Duerna	100	100	100	0	0	0	57.33	57.33	57.33	225.41	225.41	225.41
Valderaduey en Santervás de Campos	100	100	100	0	0	0	83.24	83.24	83.24	332.94	332.94	332.94
Voltoya en Coca	100	100	100	0	0	0	81.54	81.54	81.54	316.31	316.31	316.31
Zapardiel antes del Duero	100	100	100	0	0	0	76.84	76.84	76.84	305.55	305.55	305.55
Promedio	99.14	99.14	99.14	0.406	0.406	0.406	79.61	79.77	79.77	307.64	308.18	308.22

Tabla 61. Índices de hábitat de series por masa de agua del refinamiento de la optimización. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Las series acumuladas por tramo presentan un hábitat potencial útil excelente en todos los tramos, a excepción del tramo del Eresma en Segovia, para cualquiera de las combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos resultantes de los ensayos del refinamiento.

La serie de Eresma en Segovia tiene valores de garantía aceptables, pero los resultados de resiliencia, percentil 80 y acumulado son bastante deficientes.

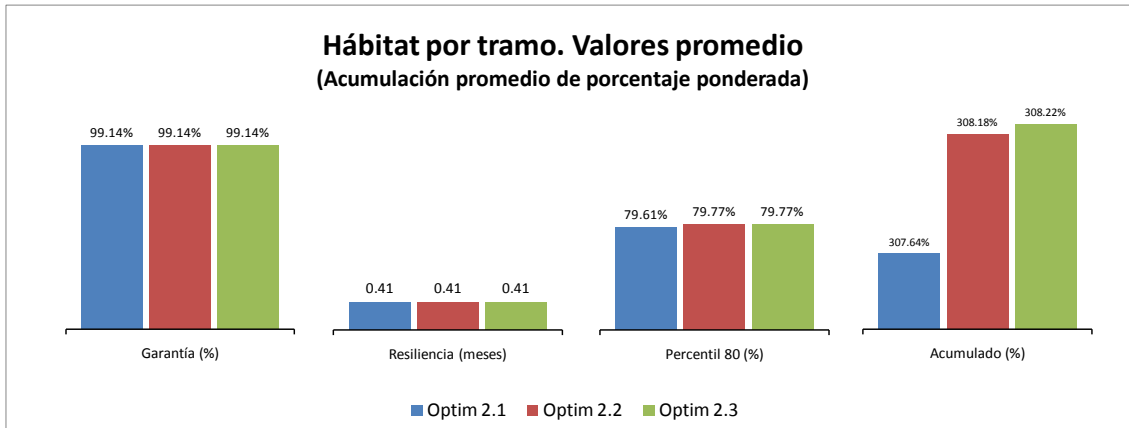


Figura 71. Promedio de índices de hábitat de series por masa de agua del refinamiento de la optimización. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

La combinación de caudal ecológico mínimo en tramos resultante del ensayo Optim. 2.3 proporciona un hábitat por tramos ligeramente superior a las otras dos.

A continuación se muestran los resultados de éstas mismas series acumuladas por mínimo:

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Barbo	0	0	0	312	312	312	4.15	1.11	1.83	4.15	1.11	1.83
Trucha	0	0	0	312	312	312	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47
Boga Duero	94.55	94.55	94.55	3	3	3	46.59	46.59	46.59	169.82	169.82	173.00
Bermejuela	20.19	19.87	19.87	31	31	31	31.67	22.26	22.50	31.67	22.26	22.50
Bordallo	0	0	0	312	312	312	5.78	5.78	5.78	20.49	20.49	20.49
Boga de río	100	100	100	0	0	0	75.26	78.97	78.97	301.02	315.90	315.90
Anguila	100	100	100	0	0	0	98.09	98.09	98.09	382.22	382.22	382.22
Promedio	44.96	44.92	44.92	138.57	138.57	138.57	37.86	36.61	36.75	130.41	130.75	131.34

Tabla 62. Índices de hábitat de series por especie del refinamiento de la optimización. Acumulación por mínimos.

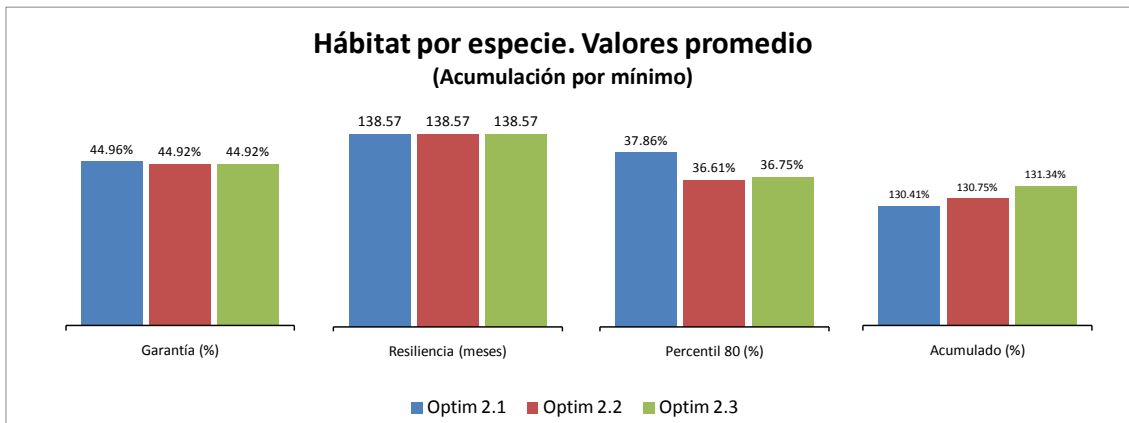


Figura 72. Índices de hábitat de series por especie del refinamiento de la optimización. Acumulación por mínimos.

La combinación que mejores resultados proporciona para las series de hábitat por especie acumulada por mínimos es la resultante del ensayo del proceso de optimización para el refinamiento de la solución óptima Optim 2.1.

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Adaja en Arévalo	93.91	93.91	93.91	2	2	2	44.68	44.68	44.68	170.12	170.12	170.12
Águeda en Castillejo Martín Viejo	99.36	99.36	99.36	1	1	1	63.53	63.53	63.53	240.37	240.37	240.37
Arlanza en Quintana del Puente	100	100	100	0	0	0	82.19	82.19	82.19	319.52	319.52	319.52
Arlanzón en Villasur de Herreros	82.69	82.69	82.69	2	2	2	42.65	42.65	42.65	141.71	141.71	141.71
Carrión en Palencia	78.85	78.85	78.85	5	5	5	38.42	38.42	38.42	104.39	104.39	104.39
Duero después del río Riaza	100	100	100	0	0	0	87.94	87.94	87.94	332.18	332.18	332.20
Duero en Aldeadávila	100	100	100	0	0	0	78.52	78.52	78.52	310.79	310.79	310.79
Duero en Garray	100	100	100	0	0	0	83.85	83.85	83.85	332.74	332.71	332.71
Duero en Peñafiel	18.91	18.91	18.91	32	32	32	30.93	30.93	30.93	122.57	122.57	122.57
Duero en Toro	60.26	60.26	60.58	19	19	19	33.19	33.19	33.19	127.45	127.45	127.45
Duración aguas abajo de Las Vencías	100	100	100	0	0	0	44.93	44.93	44.93	165.74	165.74	165.74
Eresma en Segovia	75.96	75.96	75.96	6	6	6	7.84	7.84	7.84	7.84	7.84	7.84
Esgueva en Villanueva de los Infantes	72.76	72.76	72.76	5	5	5	33.37	33.37	33.37	133.49	133.49	133.49
Esla en Bretó	100	100	100	0	0	0	89.30	89.30	89.30	346.49	346.49	346.49
Esla en Villalcampo	100	100	100	0	0	0	85.56	85.56	85.56	331.76	331.76	331.76
Esla en Villomar	83.01	83.01	83.01	6	6	6	45.66	45.66	45.66	127.98	127.98	127.98
Guareña en Toro	79.17	79.17	79.49	7	7	7	38.00	37.05	37.05	89.95	84.73	87.47
Huebra en Puente Resbala	96.47	96.47	96.47	4	4	4	83.03	83.03	83.03	273.83	273.83	273.83
Órbigo en Cebreones	75.96	75.96	75.96	5	5	5	39.01	39.01	39.01	143.51	143.51	143.51
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	39.74	39.74	39.74	10	10	10	22.15	22.15	22.15	72.70	72.70	72.70
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	88.78	88.78	88.78	4	4	4	49.71	49.71	49.71	176.17	176.17	176.17
Porma en Secos de Porma	57.37	57.37	57.37	7	7	7	18.42	18.42	18.42	54.13	54.13	54.13
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	45.19	45.19	45.51	10	10	10	25.52	25.52	25.52	76.26	76.26	76.26
Rituerto en Sauquillo de Boñices	96.15	96.15	96.15	6	6	6	59.78	59.78	59.78	217.18	217.18	217.18
Tera en Mozar de Valverde	76.60	76.60	76.60	5	5	5	35.81	35.81	35.81	116.05	116.05	116.05
Tormes aguas abajo de Almendra	0	0	0	312	312	312	30.45	30.45	30.45	121.18	121.18	121.18
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	100	100	0	0	0	87.35	87.77	87.77	336.18	351.09	351.09
Tormes en Contiensa	100	100	100	0	0	0	67.90	74.37	74.37	271.60	297.48	297.48
Tuerto antes de Duerna	0	0	0	312	312	312	5.78	5.78	5.78	20.49	20.49	20.49
Valderaduey en Santervás de Campos	8.97	8.97	8.97	58	58	58	35.34	35.34	35.34	141.35	141.35	141.35
Voltoya en Coca	97.76	97.76	97.76	2	2	2	53.84	53.84	53.84	215.34	215.34	215.34
Zapardiel antes del Duero	100	100	100	0	0	0	61.88	61.88	61.88	243.51	243.51	243.51
Promedio	75.87	75.87	75.90	25.63	25.63	25.63	50.20	50.39	50.39	183.89	185.00	185.09

Tabla 63. Índices de hábitat de series por masa de agua del refinamiento de la optimización. Acumulación por mínimos.

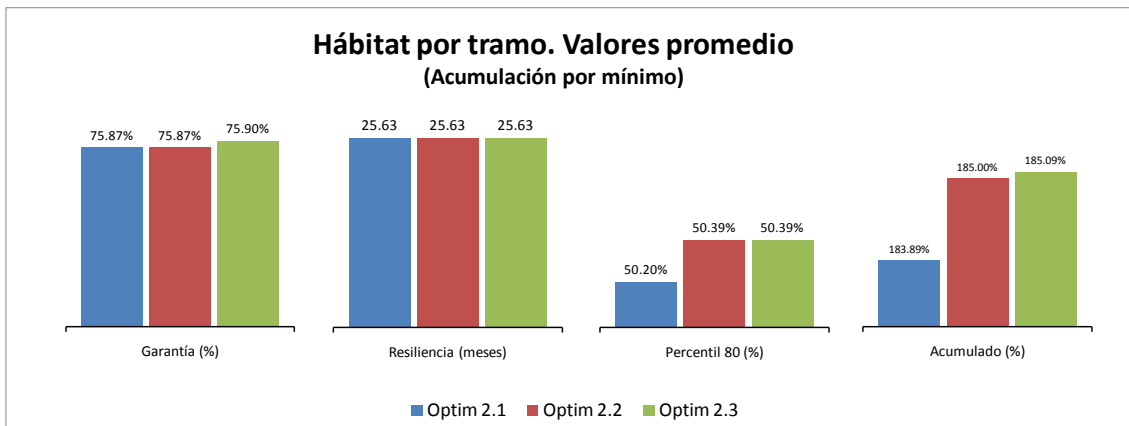


Figura 73. Índices de hábitat de series por masa de agua del refinamiento de la optimización. Acumulación por mínimos.

La combinación de caudal ecológico mínimo por tramos que mejores resultados obtiene para las series de hábitat por masa de agua acumuladas por mínimo es también la resultante del ensayo Optim 2.3.

Para cada combinación de caudal ecológico mínimo en tramos se generan un total de 409 series de hábitat de detalle, que son las series no acumuladas y las series acumuladas por etapas. Analizarlas todas no resulta práctico. Por ello se decide usar sólo la acumulación por promedio de porcentaje ponderada, y presentar solamente las que no cumplen el criterio de garantía para las series de hábitat. Se trata de las series que no alcanzan simultáneamente una garantía superior a 80%, una resiliencia de 2 o menos meses consecutivos de fallo, un percentil 80 superior al 40% del HPU máximo y un acumulado superior al 160% del HPU máximo.

Como las combinaciones de caudal ecológico mínimo en tramos obtenidas de los ensayos del proceso de optimización para el refinamiento de la solución óptima son muy similares, los resultados de hábitat de las simulaciones también lo son. Las series de hábitat que no cumplen el criterio de garantía en cada una de las tres simulaciones son las mismas (68 series), y tienen resultados muy semejantes:

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Adaja en Arévalo/Barbo/Alevín	85.38	85.38	85.38	2	2	2	47.47	47.47	47.47	132.12	132.12	132.12
Arlanzón en Villasur de Herreros/Barbo/Alevín	63.08	63.08	63.08	2	2	2	34.55	34.55	34.55	124.47	124.47	124.47
Carrión en Palencia/Barbo/Alevín	81.54	81.54	81.54	3	3	3	40.18	40.18	40.18	143.11	143.11	143.11
Carrión en Palencia/Trucha	94.87	94.87	94.87	4	4	4	81.06	81.06	81.06	230.70	230.70	230.70
Carrión en Palencia/Trucha/Alevín	79.81	79.81	79.81	3	3	3	35.72	35.72	35.72	132.93	132.93	132.93
Carrión en Palencia/Trucha/Freza	71.15	71.15	71.15	4	4	4	16.76	16.76	16.76	32.84	32.84	32.84
Duero en Peñafiel/Barbo	94.23	94.23	94.55	3	3	3	58.06	58.06	58.06	194.10	194.59	194.93
Duero en Peñafiel/Barbo/Alevín	0	0	0	5	5	5	31.06	31.06	31.06	123.91	123.91	123.91
Duero en Peñafiel/Bermejuela	50.96	50.96	50.96	14	14	14	32.29	32.29	32.29	127.74	127.74	127.74
Duero en Peñafiel/Trucha	56.09	56.09	56.09	8	8	8	33.14	33.14	33.14	130.30	130.30	130.30
Duero en Peñafiel/Trucha/Adulto	44.87	44.87	44.87	14	14	14	33.16	33.16	33.16	132.48	132.48	132.49
Duero en Peñafiel/Trucha/Juvenil	0	0	0	6	6	6	30.51	30.51	30.51	121.69	121.69	121.69
Duero en Toro/Barbo/Alevín	53.08	53.08	53.85	5	5	5	34.59	34.59	34.59	116.99	116.99	116.99
Duero en Toro/Bermejuela	76.92	76.92	76.92	7	7	7	36.17	36.17	36.17	135.73	135.73	135.73
Eresma en Segovia/Barbo	76.92	76.92	76.92	6	6	6	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05	20.05
Eresma en Segovia/Barbo/Adulto	77.24	77.24	77.24	6	6	6	24.41	24.41	24.41	24.41	24.41	24.41
Eresma en Segovia/Barbo/Alevín	66.92	66.92	66.92	3	3	3	0	0	0	0	0	0
Eresma en Segovia/Barbo/Juvenil	83.52	83.52	83.52	5	5	5	82.46	82.46	82.46	102.41	102.41	102.41
Eresma en Segovia/Bermejuela	80.77	80.77	80.77	6	6	6	44.98	44.98	44.98	44.98	44.98	44.98
Eresma en Segovia/Trucha	77.24	77.24	77.24	6	6	6	15.70	15.70	15.70	15.70	15.70	15.70
Eresma en Segovia/Trucha/Adulto	77.88	77.88	77.88	6	6	6	16.79	16.79	16.79	16.79	16.79	16.79
Eresma en Segovia/Trucha/Freza	86.54	86.54	86.54	4	4	4	42.88	42.88	42.88	83.61	83.61	83.61
Eresma en Segovia/Trucha/Juvenil	89.10	89.10	89.10	2	2	2	92.85	92.85	92.85	148.15	148.15	148.15
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Adulto	74.36	74.36	74.36	5	5	5	33.37	33.37	33.37	133.49	133.49	133.49
Esla en Villomar/Bordallo	83.65	83.65	83.65	6	6	6	50.59	50.59	50.59	135.93	135.93	135.93
Esla en Villomar/Bordallo/Adulto	83.33	83.33	83.33	6	6	6	46.91	46.91	46.91	132.25	132.25	132.25
Esla en Villomar/Trucha	89.42	89.42	89.42	6	6	6	62.99	62.99	62.99	184.43	184.43	184.43
Esla en Villomar/Trucha/Alevín	66.35	66.35	66.35	3	3	3	27.32	27.32	27.38	106.61	106.61	106.67
Esla en Villomar/Trucha/Freza	80.77	80.77	80.77	4	4	4	39.33	39.33	39.33	98.13	98.13	98.13

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Esla en Villomar/Trucha/Juvenil	83.33	83.33	83.33	2	2	2	49.15	49.15	49.15	137.37	137.37	137.37
Guareña en Toro/Barbo	84.94	84.94	85.58	6	6	5	50.43	50.43	51.09	134.87	134.45	136.39
Guareña en Toro/Barbo/Adulto	79.17	79.17	79.49	7	7	7	38.00	37.05	37.05	89.95	84.73	87.47
Guareña en Toro/Barbo/Juvenil	86.81	84.07	84.62	5	5	5	43.71	43.71	43.81	126.49	123.09	124.61
Guareña en Toro/Boga Duero	97.12	97.12	97.12	3	3	3	78.59	78.59	75.55	264.26	263.05	260.26
Huebra en Puente Resbala/Barbo/Adulto	96.47	96.47	96.47	4	4	4	100	100	100	309.02	309.02	309.02
Órbigo en Cebrones/Barbo/Adulto	92.63	92.63	92.63	3	3	3	72.91	72.91	72.91	214.90	214.90	214.90
Órbigo en Cebrones/Trucha/Alevín	68.27	68.27	68.27	3	3	3	36.25	36.25	36.25	145.00	145.00	145.00
Órbigo en Cebrones/Trucha/Juvenil	76.92	76.92	76.92	4	4	4	39.40	39.40	39.40	148.86	148.86	148.86
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Barbo/Alevín	20.77	20.77	20.77	5	5	5	23.63	23.63	23.63	93.97	93.97	93.97
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha	92.31	92.31	92.31	4	4	4	43.04	43.04	43.04	158.19	158.19	158.19
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Alevín	25.96	25.96	25.96	4	4	4	19.40	19.40	19.40	70.12	70.12	70.15
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Freza	59.62	59.62	59.62	4	4	4	18.30	18.30	18.30	39.78	39.78	39.78
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Juvenil	44.23	44.23	44.23	5	5	5	23.22	23.22	23.22	90.37	90.37	90.37
Pisuerga entre Arlanza y Carrión/Barbo/Alevín	73.08	73.08	73.08	4	4	4	38.38	38.38	38.38	153.51	153.51	153.51
Porma en Secos de Porma/Trucha	87.5	87.5	87.5	4	4	4	46.25	46.25	46.25	157.90	157.90	157.90
Porma en Secos de Porma/Trucha/Alevín	74.04	74.04	74.04	3	3	3	39.13	39.13	39.13	154.70	154.70	154.70
Porma en Secos de Porma/Trucha/Freza	0	0	0	4	4	4	9.15	9.15	9.15	36.61	36.61	36.61
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo	84.94	84.94	85.26	5	5	5	47.02	47.02	47.02	155.26	155.26	155.26
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Adulto	66.99	66.99	66.99	9	9	9	25.81	25.81	25.81	76.56	76.56	76.56
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Alevín	63.08	63.08	63.85	4	4	4	36.43	36.43	36.43	131.42	131.42	131.42
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha	89.42	89.42	89.42	4	4	4	50.34	50.34	50.34	144.33	144.33	144.33
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Adulto	81.41	81.41	81.41	5	5	5	40.36	40.36	40.36	117.80	117.80	117.80
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Alevín	78.85	78.85	79.81	3	3	3	38.26	38.26	38.26	141.02	141.02	141.02
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Freza	76.92	76.92	76.92	4	4	4	34.62	34.62	34.62	117.94	117.94	117.94
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo	97.12	97.12	97.12	5	5	5	86.17	86.17	86.17	280.35	280.35	280.35
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Adulto	96.15	96.15	96.15	6	6	6	89.26	89.26	89.26	260.01	260.01	260.01
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Alevín	95.38	95.38	95.38	4	4	4	77.20	77.20	77.20	263.86	263.86	263.86
Tera en Mozar de Valverde/Trucha/Alevín	37.5	37.5	37.5	4	4	4	25.69	25.69	25.69	102.77	102.77	102.77
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo	50	50	50	6	6	6	34.68	34.68	34.68	138.05	138.05	138.05
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Adulto	0	0	0	312	312	312	30.45	30.45	30.45	121.18	121.18	121.18
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Juvenil	42.86	42.86	42.86	4	4	4	38.92	38.92	38.92	154.20	154.20	154.20

Serie de hábitat	Garantía (%)			Resiliencia (meses)			Percentil 80 (%)			Acumulado (%)		
	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3	Optim 2.1	Optim 2.2	Optim 2.3
Tuerto antes de Duerna/Bordallo	26.60	26.60	26.60	21	21	21	6.06	6.06	6.06	20.77	20.77	20.77
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Adulto	0	0	0	312	312	312	5.78	5.78	5.78	20.49	20.49	20.49
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Alevín	79.23	79.23	79.23	5	5	5	35.33	35.33	35.33	107.43	107.43	107.43
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Alevín	50.96	50.96	50.96	4	4	4	20.57	20.57	20.57	82.28	82.28	82.28
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Freza	40.38	40.38	40.38	4	4	4	7.64	7.64	7.64	30.54	30.54	30.54
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo	41.67	41.67	41.67	7	7	7	35.34	35.34	35.34	141.35	141.35	141.35
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo/Adulto	8.97	8.97	8.97	58	58	58	35.34	35.34	35.34	141.35	141.35	141.35

Tabla 64. Índices de hábitat de las series que no cumplen el criterio de garantía en los ensayos del refinamiento de la optimización.

En muchas de las 68 series, los resultados coinciden para las tres simulaciones. En las que no coinciden, se resaltan en verde los mejores resultados. En el gráfico siguiente se muestra cuántas veces se da, para cada ensayo del proceso de optimización para el refinamiento de la solución óptima, un valor de los índices de hábitat más favorable que en el resto de ensayos, en las series de detalle acumuladas por promedio de porcentaje ponderado:

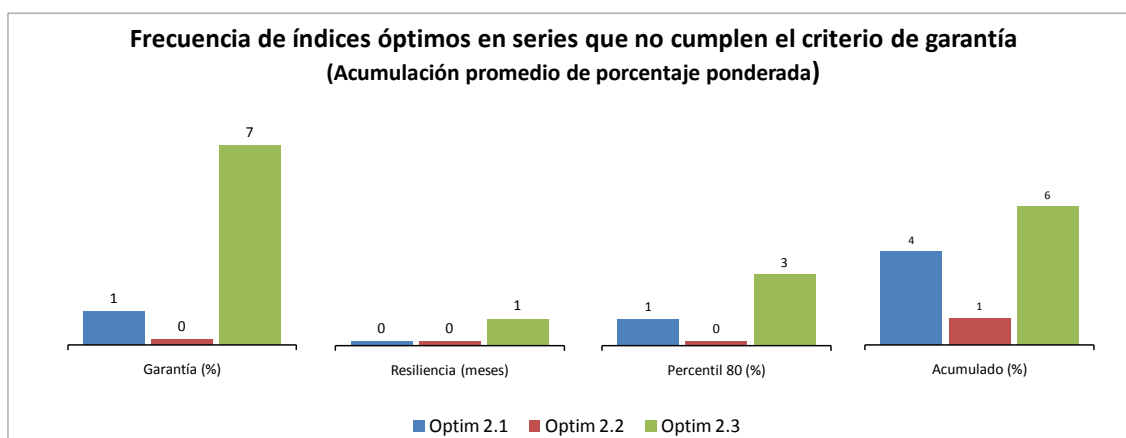


Figura 74. Frecuencia de índices de hábitat óptimos de series de hábitat que no cumplen el criterio de garantía en los ensayos del refinamiento de la optimización.

La combinación de caudal ecológico mínimo en tramos que genera mejores resultados en estas 68 series de hábitat de detalle que no cumplen el criterio de garantía es la resultante del ensayo 2.3 del refinamiento de la solución óptima.

4.4.5. Solución óptima

Tras el análisis de los resultados producción hidroeléctrica, de déficits a demandas y de hábitat se concluye que la solución óptima para la combinación de regímenes de caudal ecológico mínimo en tramos es la que proporciona el ensayo Optim. 2.3 del refinamiento.

La simulación de la gestión del sistema de recursos hídricos con la imposición de los regímenes ecológicos mínimos correspondientes a esta solución óptima, mediante el modelo SIMGES disponible, se llamará solución Propuesta. En el Anejo V del presente proyecto se incluye una descripción más detallada de esta situación Propuesta.

4.5. Descripción de la situación propuesta

Se procede en este apartado al análisis de los resultados de déficits a demandas, de producción de energía hidroeléctrica y de producción de hábitat potencial útil, que se generan en la situación Propuesta.

Se denomina situación Propuesta a la simulación del sistema de recursos hídricos de la parte española de la cuenca del Duero mediante el modelo de SIMGES usado en este proyecto, aplicando la combinación de regímenes de caudal ecológico mínimo producida por el proceso de optimización 2.3 del apartado anterior.

Este modelo de SIMGES incluye las demandas e infraestructuras previstas en el PHD para el año 2015, y se simula con una serie de aportaciones obtenida mediante un modelo SIMPA que recoge valores de aportación mensual media desde Octubre de 1980 hasta Septiembre de 2006.

Los regímenes de caudal ecológico mínimo aplicados en cada tramo en la situación Propuesta se pueden consultar en el Anejo V, Siglas y Conceptos Clave.

4.5.1. Resultados de demandas en la situación propuesta

Resultados de demandas por unidad de demanda agraria

Unidad de demanda agraria	Sistema	Dotación anual (hm ³)	% sobre dotación anual				Nº de Fallos UTAH
			Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
Riegos del Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	20.546	0.250	3.246	3.246	6.493	0
ZR Canal de Payuelos	Esla-Valderaduey	272.717	0.065	1.163	1.163	1.695	0
Riegos del Porma	Esla-Valderaduey	36.627	0	0	0	0	0
RP Río Curueño	Esla-Valderaduey	7.839	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 1ª fase	Esla-Valderaduey	89.775	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 2ª fase	Esla-Valderaduey	61.34	0	0	0	0	0
RP Río Torío	Esla-Valderaduey	11.406	3.549	25.101	50.184	50.184	0
Riegos del Bernesga	Esla-Valderaduey	54.934	0.798	10.453	20.749	20.749	0
Riegos del Esla entre Bernesga y Tera	Esla-Valderaduey	95.879	0	0	0	0	0
RP Cabecera río Valderaduey	Esla-Valderaduey	7.359	4.335	21.851	25.900	53.037	0
Riegos del Valderaduey desde trasvase	Esla-Valderaduey	2.355	0	0	0	0	0
ZR Trasmase Cea-Carrión	Esla-Valderaduey	21.582	0	0	0	0	0
ZR Páramo Bajo	Esla-Valderaduey	182.118	0	0	0	0	0
ZR Tábara-Tierra de Campos-Aliste	Esla-Valderaduey	43.529	0	0	0	0	0
Riegos del Tera	Tera	133.895	1.484	19.430	22.567	22.567	0
Riegos del Luna	Órbigo	13.48	2.006	20.275	20.275	36.217	0
Riegos del Tuerto	Órbigo	30.108	2.769	22.579	28.056	48.107	0
Riegos del Órbigo entre Omañas y Tuerto	Órbigo	90.93	1.325	13.493	13.493	25.175	0
Riegos del Órbigo entre Tuerto y Eria	Órbigo	24.668	1.255	11.910	11.910	23.277	0
Riegos del Órbigo entre Eria y Esla	Órbigo	23.426	0	0	0	0	0
ZR Páramo-Velilla-Villadangos	Órbigo	202.753	0.754	8.302	8.302	14.892	0
RP Ríos Omañas y Valdesamario	Órbigo	6.719	0.980	8.602	8.632	17.041	0
RP Río Eria	Órbigo	12.816	0.783	7.694	7.694	12.328	0
RP Río Duerna	Órbigo	27.878	35.007	56.55	103.149	382.506	25
Riegos de la Cabecera del Cea	Esla-Valderaduey	15.598	0.760	5.398	5.398	12.117	0
Riegos del Cea entre Alto y Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	21.35	0	0	0	0	0
Riegos del Cea después Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	33.488	0	0	0	0	0
Riegos del Carrión	Carrión	100.622	4.652	24.431	43.566	82.654	0
ZR Palencia	Carrión	19.319	0	0	0	0	0
ZR La Retención	Carrión	21.116	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Norte	Pisuerga	46.733	0	0	0	0	0
Riegos del Canal Castilla Sur	Carrión	51.882	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Campos	Carrión	84.627	0	0	0	0	0
Riegos Río Sequillo	Carrión	3.903	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga hasta Canal de Castilla	Pisuerga	9.791	0.187	4.862	4.862	4.862	0
Riegos del Camesa	Pisuerga	8.578	1.337	10.247	11.028	19.224	0
ZR Pisuerga	Pisuerga	54.211	0	0	0	0	0
Riegos Ríos Valdavia y Boedo	Pisuerga	27.49	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre C.Castilla y Carrión	Pisuerga	28.219	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	7.656	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga desde el Carrión	Pisuerga	8.609	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanza	Arlanza	45.206	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanzón	Arlanza	18.043	0.153	3.979	3.979	3.979	0
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.971	44.777	92.514	138.830	497.735	26
RP Río Zapardiel	Bajo Duero	0.161	0	0	0	0	0

Unidad de demanda agraria	Sistema	Dotación anual (hm ³)	% sobre dotación anual				Nº de Fallos UTAH
			Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Guareña	Bajo Duero	0.752	6.122	33.644	43.883	79.255	0
Riegos del Bajo Duero desde San José	Bajo Duero	104.316	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero hasta San José	Bajo Duero	24.838	0	0	0	0	0
Riegos del Duero entre Almazán y Ucero	Alto Duero	49.52	1.720	32.839	32.839	40.475	0
Riegos del Duero entre Ucero y Riaza	Alto Duero	39.557	1.341	27.151	27.151	33.749	0
Riegos del Duero entre Riaza y Cega	Riaza	17.804	0.734	13.637	13.637	19.097	0
Riegos del Duero hasta el Rituerto	Alto Duero	14.063	2.243	30.107	30.107	50.964	0
ZR Canal de Riaza	Riaza	30.931	1.188	25.486	25.486	30.895	0
Riegos del Duratón	Riaza	28.256	4.257	41.920	41.920	61.102	0
Riegos Río Arandilla	Alto Duero	17.15	0.760	13.580	13.580	19.749	0
RP Canal del Duero	Riaza	30.806	0.108	1.733	1.733	2.808	0
RP Río Riaza	Riaza	7.931	7.195	53.663	54.760	106.178	15
RP Río Ucero	Alto Duero	9.156	1.538	27.010	27.010	39.985	0
ZR Guma	Alto Duero	21.285	1.394	25.492	25.492	30.904	0
Riegos del Cega	Adaja-Cega	6.149	1.801	17.857	17.857	33.014	0
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	52.704	72.292	127.745	543.451	26
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.188	52.082	70.438	127.018	541.237	26
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.689	5.095	41.773	52.218	96.213	0
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.493	46.967	71.260	123.29	482.391	26
Riegos del Águeda	Águeda	13.827	0	0	0	0	0
RP Cabecera Río Yeltes	Águeda	1.824	1.866	48.520	48.520	48.520	0
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.984	10.695	51.791	71.591	150.290	12
Riegos de Santa Teresa hasta Villagonzalo	Tormes	30.288	1.983	24.066	27.460	27.493	0
Riegos de Santa Teresa desde Villagonzalo	Tormes	111.485	1.891	24.316	24.855	24.855	0
Riegos del Tormes Bajo	Tormes	15.048	1.870	24.316	24.316	24.316	0
ZR La Armuña	Tormes	64.062	1.723	23.018	23.018	23.018	0
RP Río Corneja	Tormes	6.158	18.997	60.718	99.204	306.22	14
ZR Riegos Meridionales Bajo Duero	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0
ZR Riegos Meridionales Adaja-Cega	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.482	69.281	87.318	162.25	709.622	26
Promedio:		39.658	5.370	17.547	23.999	64.808	2.613

Tabla 65. Resultados de detalle de demandas en la situación Propuesta.

En la situación Propuesta, 30 de las 75 unidades de demanda agraria se suministran totalmente, sin déficits. El número de unidades de demanda agraria sin déficits en la situación Plan y en la Base son 43 y 37 respectivamente.

Seguidamente se comparan las variaciones en los déficits y el número de fallos de suministro a demandas entre la situación Plan y la Propuesta. Se resaltan con fondo verde las mejoras de entidad, y en rosa los empeoramientos.

Unidad de demanda agraria	Sistema	Dotación anual (hm ³)	Incremento en el nº de Fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. anual			
				Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
RP Río Torío	Esla-Valderaduey	11.406	-25	-9.464	-25.627	-48.659	-192.434
RP Río Ucero	Alto Duero	9.156	-2	-3.210	-32.372	-32.372	-36.643
ZR Río Adaja	Adaja-Cega	40.689	-14	-3.196	-12.318	-26.518	-65.415
RP Río Curueño	Esla-Valderaduey	7.839	0	-3.288	-22.643	-26.496	-66.054
Riegos del Duratón	Riaza	28.256	-15	0.633	-18.400	-18.729	-25.655
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.188	0	-3.142	-6.252	-8.501	-23.712
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.493	0	-2.504	-4.146	-3.082	-20.377
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.971	1	14.285	27.314	39.812	153.455
Riegos del Tuerto	Órbigo	30.108	0	2.769	22.579	28.056	48.107
Riegos del Carrión	Carrión	100.622	0	4.130	12.647	31.782	70.870
RP Río Guareña	Bajo Duero	0.752	0	6.122	33.644	43.883	79.255
Riegos del Duero hasta el Rituerto	Alto Duero	14.063	0	2.243	30.107	30.107	50.964
Riegos del Duero entre Almazán y Ucero	Alto Duero	49.52	0	1.720	32.839	32.839	40.475
Riegos del Duero entre Ucero y Riaza	Alto Duero	39.557	0	1.341	27.151	27.151	33.749
ZR Canal de Riaza	Riaza	30.931	0	1.188	25.486	25.486	30.895
RP Río Riaza	Riaza	7.931	10	4.943	0	0	51.418
ZR Guma	Alto Duero	21.285	0	1.394	25.492	25.492	30.904
RP Cabecera Río Yeltes	Águeda	1.824	0	1.866	48.520	48.520	48.520
Riegos del Tera	Tera	133.895	0	1.436	18.189	21.326	21.326
Riegos de Santa Teresa hasta Villagonzalo	Tormes	30.288	0	1.852	20.672	24.066	24.099
Riegos de Santa Teresa desde Villagonzalo	Tormes	111.485	0	1.759	20.885	21.424	21.424
Riegos del Tormes Bajo	Tormes	15.048	0	1.739	20.886	20.886	20.886
ZR La Armuña	Tormes	64.062	0	1.723	23.018	23.018	23.018

Unidad de demanda agraria	Sistema	Dotación anual (hm3)	Incremento en el nº de Fallos UTAH	Incrementos en % sobre D. anual			
				Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.
Riegos del Órbigo entre Omañas y Tuerto	Órbigo	90.93	0	1.192	10.023	10.023	21.706
Riegos del Órbigo entre Tuerto y Eria	Órbigo	24.668	0	1.255	11.910	11.910	23.277
Riegos del Duero entre Riaza y Cega	Riaza	17.804	0	0.734	13.637	13.637	19.097
Riegos Río Arandilla	Alto Duero	17.15	0	0.760	13.580	13.580	19.749
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.984	4	1.219	6.236	6.236	6.236
RP Río Corneja	Tormes	6.158	1	0.848	3.638	3.638	3.638
Riegos del Esla hasta el Porma	Esla-Valderaduey	20.546	0	0.250	3.246	3.246	6.493
ZR Canal de Payuelos	Esla-Valderaduey	272.717	0	0.065	1.163	1.163	1.695
Riegos del Porma	Esla-Valderaduey	36.627	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 1ª fase	Esla-Valderaduey	89.775	0	0	0	0	0
ZR MI Porma 2ª fase	Esla-Valderaduey	61.34	0	0	0	0	0
Riegos del Bernesga	Esla-Valderaduey	54.934	0	-0.094	-1.402	-2.432	-2.432
Riegos del Esla entre Bernesga y Tera	Esla-Valderaduey	95.879	0	0	0	0	0
RP Cabecera río Valderaduey	Esla-Valderaduey	7.359	0	0	0	0	0
Riegos del Valderaduey desde trasvase	Esla-Valderaduey	2.355	0	0	0	0	0
ZR Trasvase Cea-Carrión	Esla-Valderaduey	21.582	0	-0.853	-3.735	-4.953	-12.358
ZR Páramo Bajo	Esla-Valderaduey	182.118	0	0	0	0	0
ZR Tábara-Tierra de Campos-Aliste	Esla-Valderaduey	43.529	0	0	0	0	0
Riegos del Luna	Órbigo	13.48	0	1.028	4.332	4.332	15.111
Riegos del Órbigo entre Eria y Esla	Órbigo	23.426	0	0	0	0	0
ZR Páramo-Velilla-Villadangos	Órbigo	202.753	0	0.043	-7.374	-7.374	-3.586
RP Ríos Omañas y Valdesamario	Órbigo	6.719	0	-0.483	-6.638	-14.184	-5.775
RP Río Eria	Órbigo	12.816	0	-1.517	-7.303	-8.911	-20.264
RP Río Duerna	Órbigo	27.878	0	0.144	0	0	0
Riegos de la Cabecera del Cea	Esla-Valderaduey	15.598	0	-0.342	-0.718	-0.718	-1.596
Riegos del Cea entre Alto y Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	21.35	0	-0.305	-2.192	-3.621	-6.042
Riegos del Cea después Bajo Payuelos	Esla-Valderaduey	33.488	0	-0.286	-1.705	-3.330	-5.948
ZR Palencia	Carrión	19.319	0	0	0	0	0
ZR La Retención	Carrión	21.116	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Norte	Pisuerga	46.733	0	0	0	0	0
Riegos del Canal Castilla Sur	Carrión	51.882	0	0	0	0	0
Riegos del Canal de Castilla Campos	Carrión	84.627	0	0	0	0	0
Riegos Río Sequillo	Carrión	3.903	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga hasta Canal de Castilla	Pisuerga	9.791	0	0.187	4.862	4.862	4.862
Riegos del Camesa	Pisuerga	8.578	0	0.188	0	0.781	0
ZR Pisuerga	Pisuerga	54.211	0	0	0	0	0
Riegos Ríos Valdavia y Boedo	Pisuerga	27.49	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre C.Castilla y Carrión	Pisuerga	28.219	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga entre Arlanza y Carrión	Pisuerga	7.656	0	0	0	0	0
Riegos Pisuerga desde el Carrión	Pisuerga	8.609	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanza	Arlanza	45.206	0	0	0	0	0
Riegos del Arlanzón	Arlanza	18.043	0	0.153	3.979	3.979	3.979
RP Río Zapardiel	Bajo Duero	0.161	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero desde San José	Bajo Duero	104.316	0	0	0	0	0
Riegos del Bajo Duero hasta San José	Bajo Duero	24.838	0	0	0	0	0
RP Canal del Duero	Riaza	30.806	0	0.108	1.733	1.733	2.808
Riegos del Cega	Adaja-Cega	6.149	0	0.026	0.862	0.862	0.895
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	0	0.001	0.072	0.065	-0.013
Riegos del Águeda	Águeda	13.827	0	0	0	0	0
ZR Riegos Meridionales Bajo Duero	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0
ZR Riegos Meridionales Adaja-Cega	Adaja-Cega	0	0	0	0	0	0
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.482	0	0.147	1.234	0	0

Tabla 66. Incrementos en los resultados de detalle de demandas en la situación Propuesta respecto de la situación Plan.

De las 75 unidades de demanda agraria, 46 no sufren variaciones significativas en su suministro en la situación Propuesta respecto de la situación Plan. Hay 22 UDA cuyo suministro empeora significativamente mientras que en 7 éste mejora. En total se cuentan 22 datos de déficits que mejoran significativamente en la situación Propuesta respecto de la situación Plan, y 55 que empeoran significativamente.

Pese a ello, los déficits no alcanzan valores inaceptables, pues el proceso de optimización con el que se diseña la situación Propuesta (Optim 2.3), impone un criterio de aumento de déficits que limita la aparición de fallos de suministro a demandas suministradas sin fallo en la situación Base, así como incrementos elevados en los déficits en aquellas demandas que ya en la situación Base sufren fallos de suministro (véase la tabla 25).

Dotación	% sobre dotación anual	Nº de
----------	------------------------	-------

	anual (hm ³)	Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consecutivos	Déficit máximo 10 años consecutivos	Fallos UTAH
Promedio situación Propuesta	39.658	5.370	17.547	23.999	64.808	2.613
Promedio situación Base	39.658	5.050	15.137	21.056	60.028	2.547
Promedio situación Plan	39.658	4.960	13.319	19.812	59.600	3.147

Tabla 67. Promedios de índices de demandas en la situación Propuesta. Comparación con las situaciones Plan y Base.

El incremento en los promedios de los déficits en la situación Propuesta respecto de la situación Plan y la Base es admisible, pues deriva del criterio de déficits impuesto en el proceso de optimización para el refinamiento de la solución óptima.

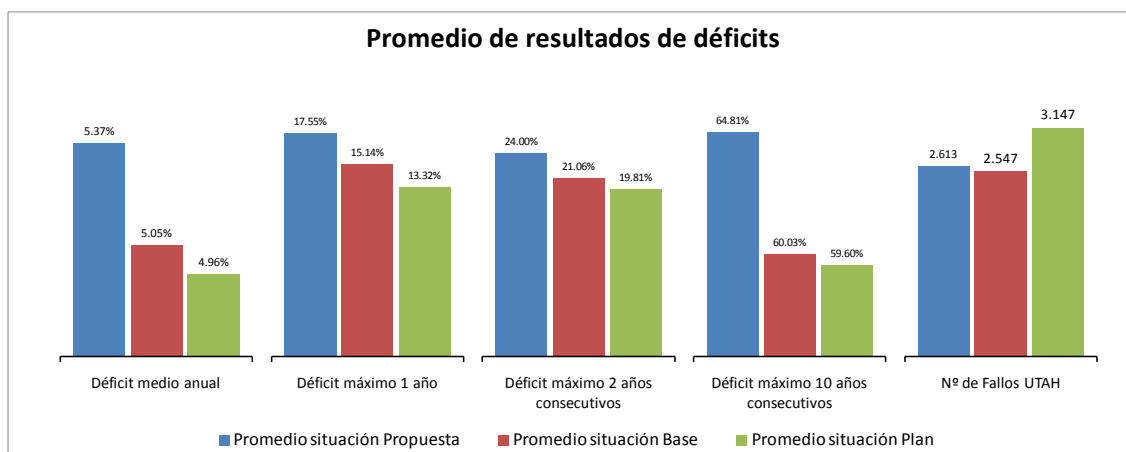


Figura 75. Promedios de índices de demandas en la situación Propuesta. Comparación con las situaciones Plan y Base.

Cabe destacar que pese a que en general, en la situación Propuesta, se aumentan los déficits respecto de la situación Plan, el número de fallos UTAH desciende. Esto significa que se generan menos situaciones inaceptables de suministro a demandas en la situación Propuesta que en la Plan.

Como se puede observar en la tabla de las variaciones anterior, las unidades de demanda agraria en las que se reduce el número de fallos del criterio de suministro tipo UTAH de la IPH son RP Río Torio (25 fallos de suministro menos en la situación Propuesta que en la Plan), Riegos del Duratón (-15), ZR Río Adaja (-14) y RP Río Ucero (-2).

Aunque la localización de estas UDA es muy distante, la razón por la que en ellas disminuye el número de fallos de suministro es muy similar.

Todas estas demandas se suministran superficialmente de tramos de ríos bastante altos, relativamente cercanos a las cabeceras. En el modelo de simulación de la cuenca, su localización es próxima a la aportación del tramo del que se suministran. Aguas abajo del tramo del que se suministran estas demandas, o en su defecto en tramos paralelos, existen tramos de caudal ecológico mínimo. Aguas abajo de estas unidades de demanda agraria existen concentraciones, de diferentes magnitudes, de demandas consuntivas.

Los tramos de imposición de caudal ecológico mínimo Porma en Secos de Porma, Esla en Villomar son paralelos al tramo del que se suministra la UDA RP Río Torio. Duero en Garray y Rituerto en Sauquillo de Boñices lo son del tramo del que suministra RP Río Ucero. Aguas abajo de la toma de la UDA ZR Río Adaja se encuentra el tramo de caudal ecológico Adaja en Arévalo. Rianza aguas abajo del Arroyo y Duero después del Rio Rianza son paralelos al tramo del que se suministra los Riegos del Duratón, y Duratón aguas abajo de las Vencías queda aguas abajo de éste.

Esto conlleva que aguas abajo de los tramos de los que estas demandas agrarias se suministran, existe más recurso hídrico disponible para otras demandas. Como consecuencia, el modelo no reserva el agua de los tramos de las tomas de estas unidades de demanda agraria para unidades que se encuentren más aguas abajo y la destina a las citadas unidades de demanda agraria.

Resultados de demandas por sistema de explotación

A continuación se muestran los resultados de demandas por sistemas de explotación. Se recuerda que para generar los resultados por sistemas de explotación simplemente se suma los resultados correspondientes a UDA del mismo sistema. Por ello, en general, no se tiene el déficit máximo anual (o de 2 años o de 10 años consecutivos) del sistema sino la suma del máximo déficit anual de las demandas del sistema.

Sistema	Dotación anual (hm3)	En % sobre Dotación anual				Nº de Fallos UTAH
		Déficit medio anual	Suma de déficit máximo 1 año	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	
Tera	133.90	1.48	19.43	22.57	22.57	0
Órbigo	432.78	3.25	13.61	16.99	43.34	25
Esla-Valderaduey	978.44	0.15	1.52	2.42	2.95	0
Carrión	281.47	1.66	8.73	15.57	29.55	0
Pisuerga	212.26	4.49	9.78	14.39	50.18	26
Arlanza	63.25	0.04	1.14	1.14	1.14	0
Alto Duero	163.21	6.69	32.08	37.81	87.47	26
Riaza	115.73	1.99	23.28	23.36	34.14	15
Adaja-Cega	170.56	37.26	62.52	104.00	394.75	78
Bajo Duero	130.07	0.04	0.19	0.25	0.46	0
Tormes	277.03	3.83	29.76	34.77	53.58	26
Águeda	15.65	0.22	5.65	5.65	5.65	0

Tabla 68. Resultados globales de demandas en la situación Propuesta.

En la situación Propuesta ya no hay sistemas sin ningún déficit de suministro, mientras que en la situación Plan todas las UDA de los sistemas Águeda, Arlanza y Águeda no sufrían déficits.

Los sistemas peor suministrados siguen siendo los mismos, Adaja-Cega y a mucha distancia Alto Duero, Pisuerga, Tormes y Órbigo. Los sistemas mejor suministrados son Esla-Valderaduey, Arlanza, Bajo Duero y Águeda.

Del análisis de las variaciones en los déficits respecto de la situación Plan por sistemas, según el criterio de variación significativa para resultados de demanda, se observa el aumento general de los déficits respecto de la situación Plan que se asume para la mejora del HPU.

Al igual que en la situación Base aparece la mejora inesperada en el suministro de las demandas agrarias del sistema Adaja-Cega, que es el peor suministrado en ambas situaciones, Plan y también en Propuesta. Se trata de una mejora notable, en un sistema muy perjudicado y con un volumen de demanda nada despreciable.

Sistema	Dotación anual (hm3)	Incrementos en % sobre Dotación anual				Incremento en el nº de Fallos UTAH
		Déficit medio anual	Suma de déficit máximo 1 año	Suma de déficit máximo 2 años consec.	Suma de déficit máximo 10 años consec.	
Tera	133.90	1.44	18.19	21.33	21.33	0
Órbigo	432.78	0.52	0.72	0.93	7.33	0
Esla-Valderaduey	978.44	-0.16	-0.37	-0.84	-2.93	-25
Carrión	281.47	1.48	4.52	11.36	25.34	0
Pisuerga	212.26	1.43	2.92	4.19	15.39	1
Arlanza	63.25	0.04	1.14	1.14	1.14	0
Alto Duero	163.21	1.13	22.17	22.07	28.90	-2
Riaza	115.73	0.95	4.88	4.80	9.20	-5
Adaja-Cega	170.56	-1.95	-4.93	-8.07	-25.10	-14
Bajo Duero	130.07	0.04	0.19	0.25	0.46	0
Tormes	277.03	1.64	18.33	18.92	18.92	5
Águeda	15.65	0.22	5.65	5.65	5.65	0

Tabla 69. Incrementos en los resultados globales de demandas en la situación Propuesta respecto de la situación Plan.

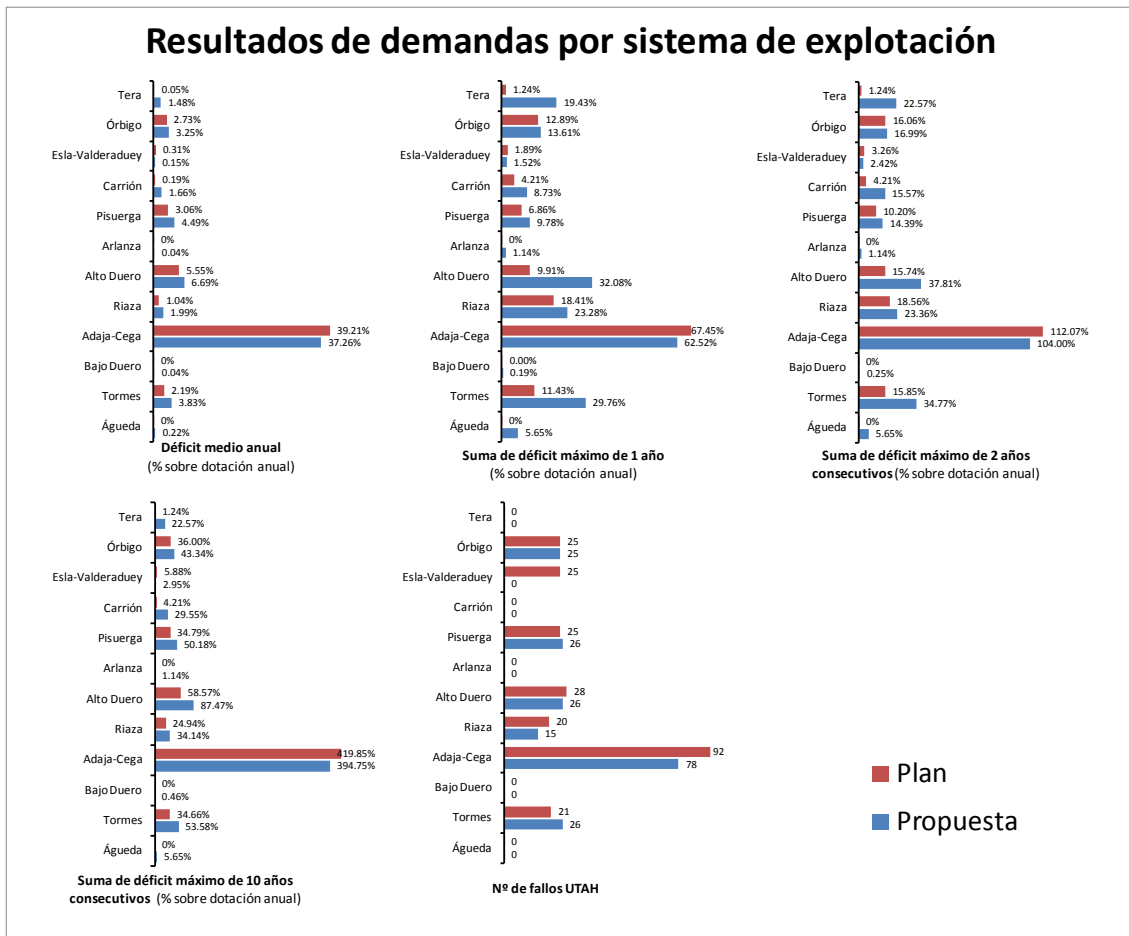


Figura 76. Índices de demandas por sistema de explotación. Situaciones Plan y Propuesta.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las unidades de demanda con fallos de suministro en el criterio de garantía de la instrucción, en la situación Propuesta.

Unidad de demanda agraria	Sistema	Dotación anual (hm ³)	% sobre dotación anual				Nº de Fallos UTAH
			Déficit medio anual	Déficit máximo 1 año	Déficit máximo 2 años consec.	Déficit máximo 10 años consec.	
RP Río Duerna	Órbigo	27.878	35.007	56.55	103.149	382.506	25
RP Río Esgueva	Pisuerga	20.971	44.777	92.514	138.830	497.735	26
RP Río Riaza	Riaza	7.931	7.195	53.663	54.760	106.178	15
Riegos del Pirón	Adaja-Cega	46.04	52.704	72.292	127.745	543.451	26
Riegos del Eresma hasta el Voltoya	Adaja-Cega	12.188	52.082	70.438	127.018	541.237	26
ZR Eresma	Adaja-Cega	65.493	46.967	71.260	123.29	482.391	26
Riegos Cabecera del Tormes	Tormes	49.984	10.695	51.791	71.591	150.290	12
RP Río Corneja	Tormes	6.158	18.997	60.718	99.204	306.22	14
Riegos Río Gromejón	Alto Duero	12.482	69.281	87.318	162.25	709.622	26

Tabla 70. Unidades de demanda agraria que no cumplen el criterio de garantía de la IPH en la situación Propuesta.

Se trata de las mismas 9 unidades de demanda agraria que en la situación Base no cumplían el criterio de suministro de la IPH. Todas ellas tampoco lo cumplen en la situación Plan.

4.5.2. Producción hidroeléctrica en la situación propuesta

La producción anual media de energía hidroeléctrica en la situación Propuesta por centrales la siguiente:

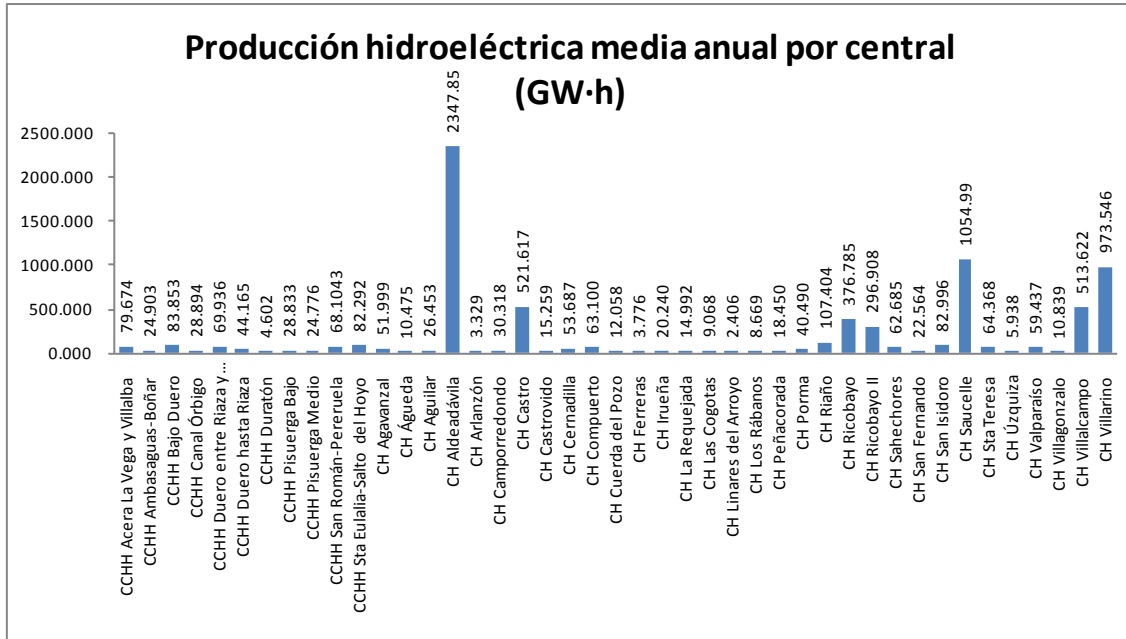


Figura 77. Producción de energía hidroeléctrica por centrales en la situación Propuesta.

La producción anual media en la cuenca asciende de 7377,2 GW·h en la situación Plan a 7426,35 GW·h en la situación Propuesta. La producción se concentra en las centrales hidroeléctricas más potentes: Aldeadávila, Saucelle, Villarino, Castro, Villalcampo y Ricobayo I y II.

Con el siguiente gráfico se muestran las diferencias respecto de la situación Plan.

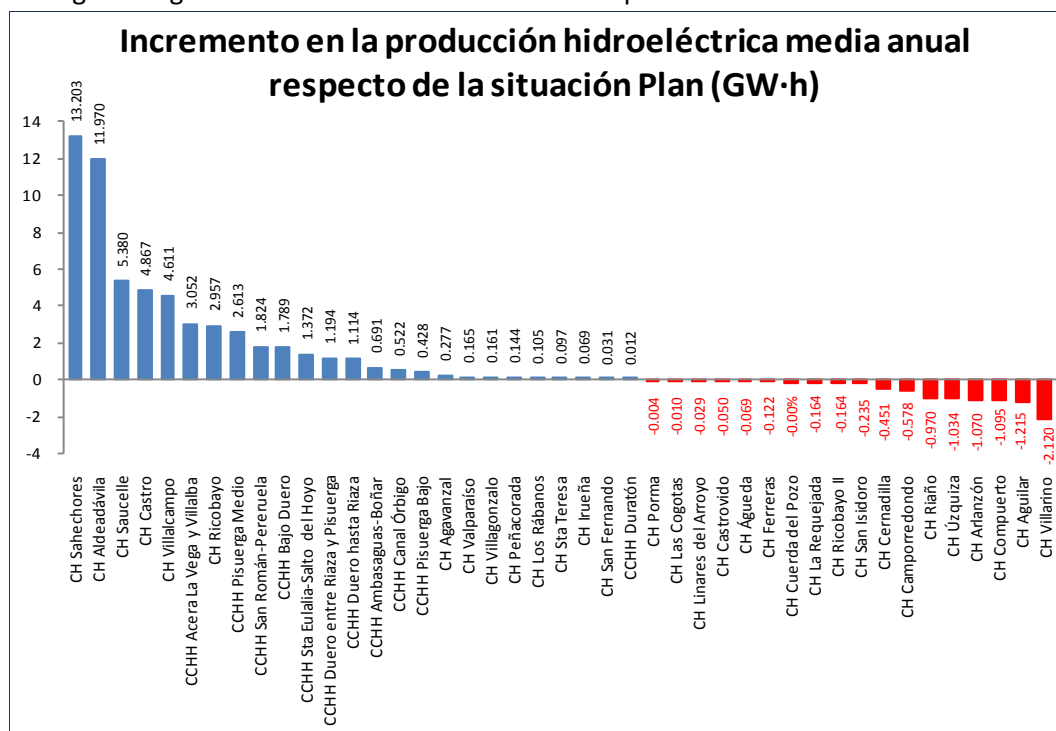


Figura 78. Incrementos en la producción de energía hidroeléctrica por centrales en la situación Propuesta respecto de la situación Plan.

El aumento de producción, de casi 50 GW·h/año, se distribuye entre varias centrales, pudiéndose destacar Saucelle y Aldeadávila. La central de Villarino presenta el mayor descenso en la producción respecto de la situación Plan, pese a haberse mantenido el mismo régimen de caudal ecológico en el tramo Tormes aguas abajo de Almendra que en la situación Plan. Este descenso de 2.12 GW·h/año no supone un valor alarmante.

Los resultados de producción por sistemas de explotación en la situación Propuesta y su variación respecto de la situación Plan se muestran en el siguiente gráfico.

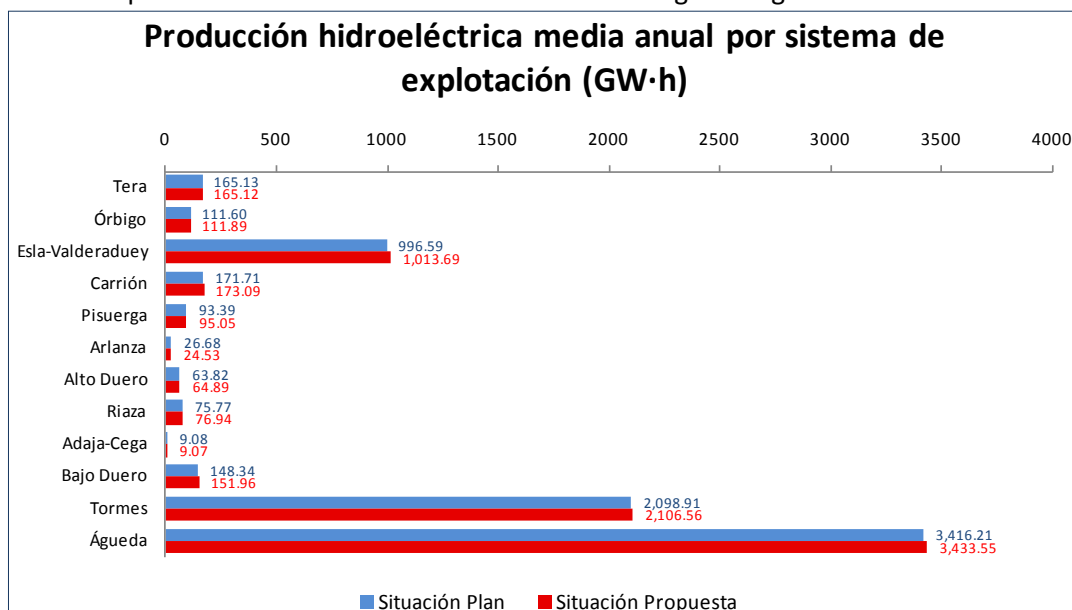


Figura 79. Producción de energía hidroeléctrica por sistemas en la situación Propuesta. Comparación con la situación Plan.

El aumento de la producción se reparte en los sistemas Águeda, Esla-Valderaduey, Tormes y Bajo Duero. Las centrales del sistema Arlanza presentan un descenso de producción de 2.15 GW·h/año, que pese a ser el mayor descenso, tiene poca entidad.

Si bien es cierto que la producción de energía hidroeléctrica en las centrales de la cuenca aumenta de modo global, y que ninguna de las centrales simuladas sufre un descenso de la producción alarmante, en futuros análisis más exhaustivos del efecto de la imposición de caudales ecológicos debería analizarse también la afección a empresas suministradoras de energía hidroeléctrica.

4.5.3. Resultados de hábitat en la situación propuesta

Como en apartados anteriores, los resultados de hábitat que se muestran son las series de hábitat por especie y por masa de agua obtenidos mediante las acumulaciones por promedio de porcentaje ponderada y por mínimos, y sus variaciones respecto de la situación Plan. Posteriormente se analiza los resultados de las series de detalle por promedio de porcentaje ponderado que no alcanzan el criterio de garantía para las series de hábitat. Se resaltan en fondo verde los aumentos significativos de hábitat, y en rosa los descensos, según el criterio de definición de variación significativa adoptado.

Series de hábitat globales

Acumulación por promedio de porcentaje ponderada

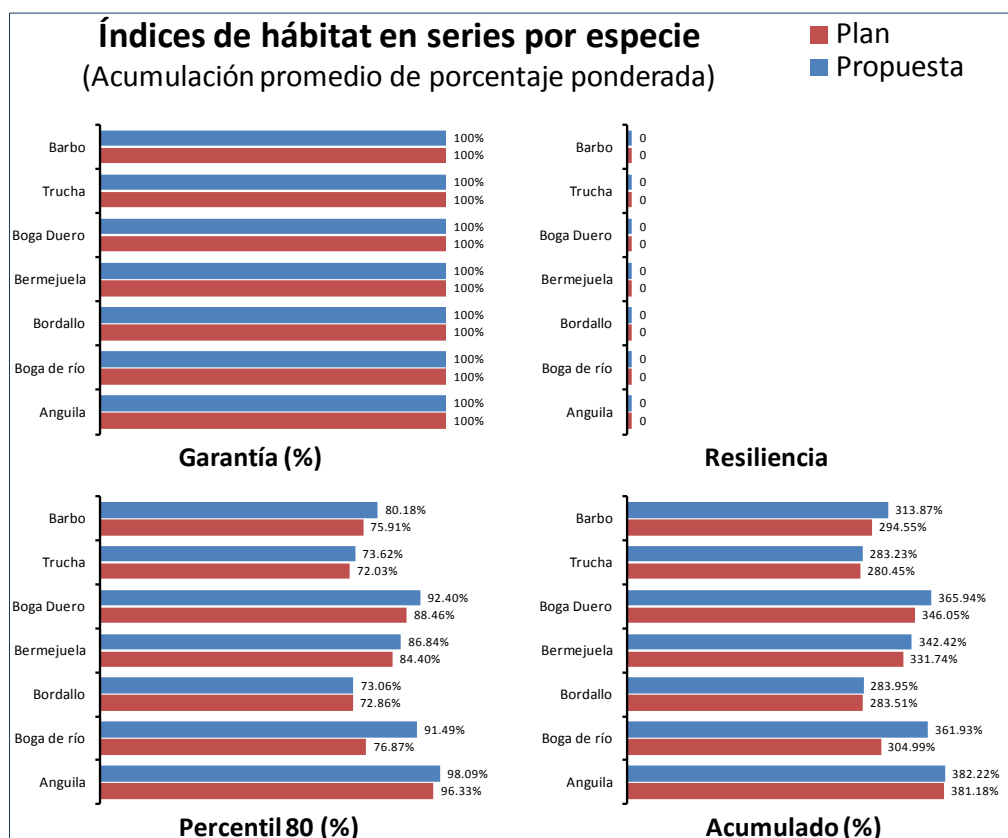


Figura 80. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Propuesta. Comparación con la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Barbo	100	0	0	0	80.18	4.27	313.87	19.33

Trucha	100	0	0	0	73.62	1.59	283.23	2.78
Boga Duero	100	0	0	0	92.40	3.94	365.94	19.90
Bermejuela	100	0	0	0	86.84	2.44	342.42	10.69
Bordallo	100	0	0	0	73.06	0.20	283.95	0.44
Boga de río	100	0	0	0	91.49	14.62	361.93	56.94
Anguila	100	0	0	0	98.09	1.77	382.22	1.03
Promedio	100	0	0	0	85.10	4.12	333.37	15.87

Tabla 71. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Propuesta. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

Los resultados de hábitat medio de las series por especie mejoran sustancialmente respecto de la situación Plan, si bien en esta ya eran excelentes. Cabe destacar la mejora del hábitat medio del Barbo y de la Boga común, pese a ser dos casos muy distintos. El caso del Barbo implica una mejora global en muchas series de hábitat en la cuenca, pues se trata de la especie con más series de hábitat del presente estudio. El caso de la Boga de río implica una mejora sustancial concreta de su hábitat en los dos únicos tramos de río del estudio en los que esta especie está presente, Tormes aguas abajo de Villagonzalo y Tormes en Contienda. Los aumentos de hábitat potencial útil más leves son los de la trucha (segunda especie más extendida del estudio) y la del bordallo. Estas especies presentan los valores de hábitat más modestos, aunque siguen siendo excelentes.

El hábitat por tramo en la situación Propuesta presenta los siguientes valores con la acumulación promedio de porcentaje ponderada.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Adaja en Arévalo	100	0	0	0	82.41	-3.91	320.99	-11.11
Águeda en Castillejo Martín Viejo	100	0	0	0	90.84	-0.06	360.28	0.16
Arlanza en Quintana del Puente	100	0	0	0	92.99	0.015	369.41	-0.088
Arlanzón en Villapur de Herreros	99.04	-0.96	2	2	81.93	0.079	325.97	1.591
Carrión en Palencia	100	0.64	0	-1	87.29	6.01	343.43	60.30
Duero después del río Riaza	100	0	0	0	95.68	2.16	370	7.21
Duero en Aldeadávila	100	0	0	0	93.71	0.14	370.64	1.46
Duero en Garray	100	0	0	0	95.85	-0.13	382.14	-0.61
Duero en Peñafiel	100	4.17	0	-3	65.66	0.01	256.82	21.87
Duero en Toro	100	0	0	0	75.22	0	292.32	-0.05
Duratón aguas abajo de Las Vencías	100	0	0	0	77.20	-9.45	303.88	-41.63
Eresma en Segovia	77.88	-1.28	6	0	28.37	-4.77	28.37	-4.77
Esgueva en Villanueva de los Infantes	100	27.56	0	-6	77.82	77.82	311.26	311.26
Esla en Bretó	100	0	0	0	96.28	0.00	382.48	0.78
Esla en Villalcampo	100	0	0	0	89.72	0	351.96	0.43
Esla en Villomar	100	5.77	0	-2	72.38	13.15	250.78	78.46
Guareña en Toro	96.47	0.64	2	-1	67.05	3.20	212.68	8.82
Huebra en Puente Resbala	100	0	0	0	96.26	0	368.53	-0.10
Órbigo en Cebrones	100	0	0	0	73.69	0.02	291.53	0.56
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	100	0	0	0	73.11	-0.235	289.66	-0.663
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	100	0	0	0	84.68	0	333.51	0
Porma en Secos de Porma	100	0	0	0	85.68	0.70	339.75	5.72
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	100	0	0	0	72.64	-6.17	263.85	-41.75
Rituerto en Sauquillo de Boñices	99.04	0	3	0	84.40	0.166	324.77	0.206
Tera en Mozar de Valverde	100	0	0	0	73.81	0.00	286.54	0.00
Tormes aguas abajo de Almendra	100	0	0	0	55.83	0.00	222.43	0.00
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	0	0	0	96.25	12.83	380.95	49.31
Tormes en Contienda	100	0	0	0	86.98	12.79	347.90	51.74
Tuerto antes de Duerna	100	0	0	0	57.33	0	225.41	2.061
Valderaduey en Santervás de Campos	100	0	0	0	83.24	0	332.94	0
Voltoya en Coca	100	4.49	0	-2	81.54	10.88	316.31	81.75
Zapardiel antes del Duero	100	0	0	0	76.84	-0.02	305.55	-0.057
Promedio	99.14	1.28	0.41	-0.41	79.77	3.60	308.22	18.21

Tabla 72. Resultados de índices de hábitat de series por tramo en la situación Propuesta. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

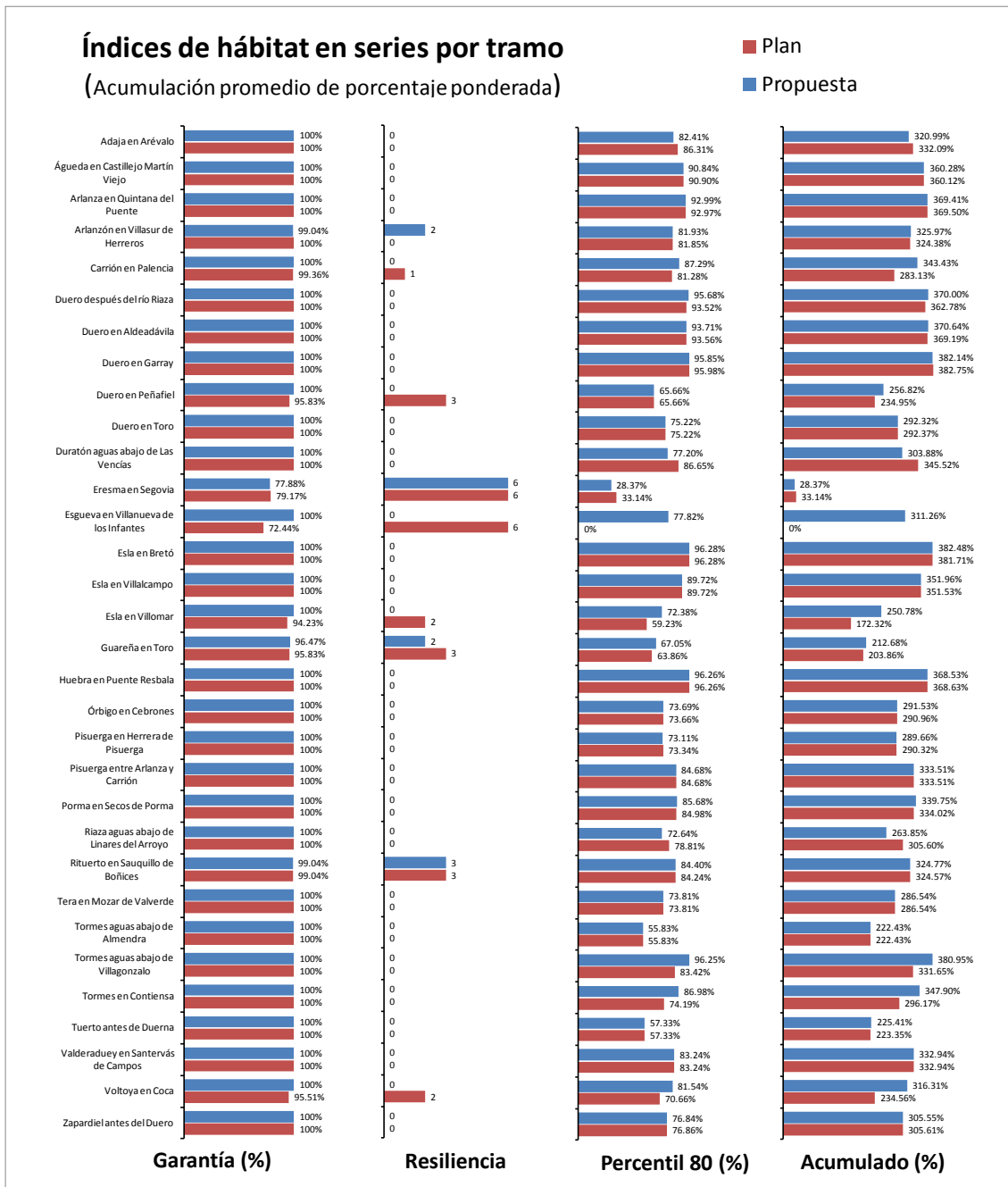


Figura 81. Resultados de índices de hábitat de series por tramos en la situación Propuesta. Comparación con la situación Plan. Acumulación promedio de porcentaje ponderado.

El hábitat por tramo también se aumenta de manera notable en la situación Propuesta, respecto de Plan. Aunque es una mejora generalizada cabe destacar el espectacular aumento del hábitat en Esgueva en Villanueva de los Infantes, tanto por la magnitud de la mejora como por el valor de HPU tan bajo que se obtenía en este tramo en la situación Plan.

Sin embargo, el hábitat en Eresma en Segovia puede llamar la atención, pues ya en la situación Plan presenta valores bajos, y en la situación Propuesta disminuye ligeramente. Retomando las deducciones obtenidas en el análisis del efecto individual de los caudales ecológicos, el hábitat en este tramo solamente se veía afectado por el caudal ecológico mínimo en el propio tramo. Esta afección era negativa, es decir, cuánto mayor era el caudal ecológico mínimo que se imponía en el tramo, más bajos eran los resultados de hábitat del propio tramo. En cambio, valores más altos del caudal ecológico mínimo proporcionaban mejores resultados de hábitat de las series de hábitat por especie del Barbo y de la Trucha. De esto se deduce que disminuyendo levemente el HPU en el propio tramo, que ya de por sí era muy bajo, se mejora el percentil 80 y el acumulado de las series de hábitat del Barbo y de la Trucha, a escala de cuenca.

Se concluye que tanto el hábitat por especie como el hábitat por tramo presentan valores excelentes en la situación Propuesta, y mejoran de manera notable respecto de la situación Plan.

Acumulación por mínimos

La acumulación por mínimos escoge para cada mes el valor de HPU más bajo de las series que acumula. Por ello genera resultados de hábitat tan bajos, sobre todo si la serie es el resultado de acumular un gran número de series no acumuladas. De esta manera, con esta acumulación tan desfavorable se evidencian las series de hábitat excelentes.

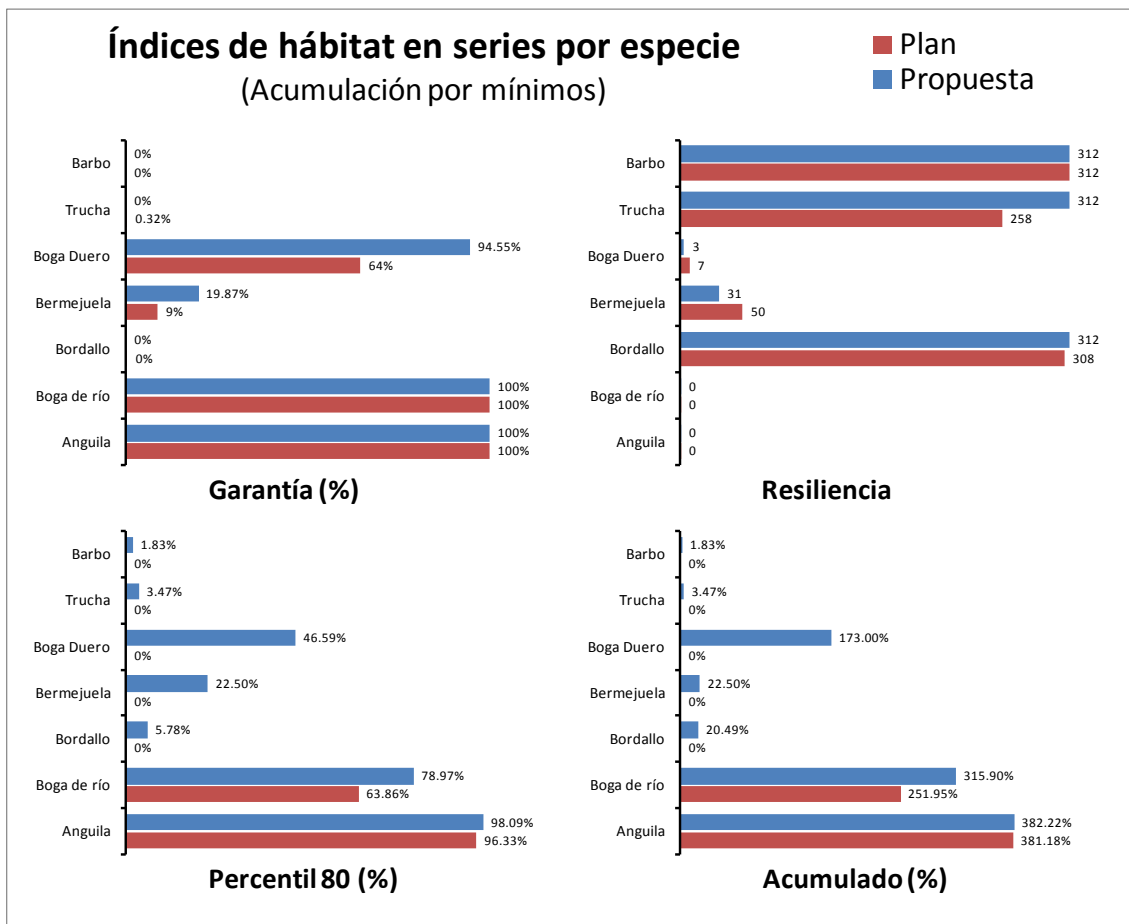


Figura 82. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Propuesta. Comparación con la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Barbo	0	0	312	0	1.83	1.83	1.83	1.83
Trucha	0	-0.321	312	54	3.47	3.47	3.47	3.47
Boga Duero	94.55	30.128	3	-4	46.59	46.59	173	173
Bermejuela	19.87	11.218	31	-19	22.50	22.50	22.50	22.50
Bordallo	0	-0.321	312	4	5.78	5.78	20.49	20.49
Boga de río	100	0	0	0	78.97	15.12	315.90	63.95
Anguila	100	0	0	0	98.09	1.77	382.22	1.03
Promedio	44.92	5.82	138.57	5	36.75	13.86	131.34	40.90

Tabla 73. Resultados de índices de hábitat de series por especies en la situación Propuesta. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Se observa un aumento de la resiliencia de la serie acumulada de la trucha. Pese a ello, la mejora generalizada de los valores más bajos de HPU por especie queda patente con observando los aumentos de percentil 80 y acumulado en todas las series de hábitat por especie. La Boga del Duero y la Bermejuela experimentan las mejoras del hábitat más destacables, pudiéndose afirmar que el hábitat de estas especies mantiene un valor mínimo excelente en todo momento, con la situación Propuesta.

El hábitat por tramo con la acumulación por mínimo es el siguiente:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ	Valor	Δ
Adaja en Arévalo	93.91	4.49	2	0	44.68	-9.09	170.12	2.40
Águeda en Castillejo Martín Viejo	99.36	0	1	0	63.53	0.70	240.37	2.54
Arlanza en Quintana del Puente	100	0	0	0	82.19	0.065	319.52	0.546
Arlanzón en Villasur de Herreros	82.69	7.37	2	-2	42.65	8.099	141.71	13.906
Carrión en Palencia	78.85	9.29	5	0	38.42	9.34	104.39	24.36
Duero después del río Riaza	100	1.28	0	-1	87.94	3.40	332.20	30.70
Duero en Aldeadávila	100	0	0	0	78.52	0.54	310.79	0.54
Duero en Garray	100	0	0	0	83.85	-0.25	332.71	0.09
Duero en Peñafiel	18.91	0.64	32	0	30.93	0.23	122.57	26.87
Duero en Toro	60.58	1.92	19	0	33.19	0	127.45	1.01
Duración aguas abajo de Las Vencías	100	0	0	0	44.93	-17.42	165.74	-81.85
Eresma en Segovia	75.96	18.91	6	-1	7.84	-2.25	7.84	-2.25
Esgueva en Villanueva de los Infantes	72.76	10.26	5	-3	33.37	33.37	133.49	133.49
Esla en Bretó	100	0	0	0	89.30	0.00	346.49	3.78
Esla en Villalcampo	100	0	0	0	85.56	0	331.76	1.69
Esla en Villomar	83.01	25.32	6	-1	45.66	22.20	127.98	77.08
Guareña en Toro	79.49	3.21	7	-1	37.05	3.73	87.47	9.69
Huebra en Puente Resbala	96.47	0	4	0	83.03	0	273.83	0.00
Órbigo en Cebrones	75.96	0.64	5	0	39.01	0.49	143.51	3.11
Pisuerga en Herrera de Pisuerga	39.74	-0.64	10	0	22.15	-0.249	72.70	0.932
Pisuerga entre Arlanza y Carrión	88.78	0	4	0	49.71	0	176.17	0
Porma en Secos de Porma	57.37	1.60	7	0	18.42	0.79	54.13	0.21
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo	45.51	-24.68	10	5	25.52	-10.58	76.26	-48.52
Rituerto en Sauquillo de Boñices	96.15	0	6	0	59.78	0	217.18	0.793
Tera en Mozar de Valverde	76.60	1.92	5	0	35.81	2.27	116.05	2.27
Tormes aguas abajo de Almendra	0	0	312	0	30.45	0.00	121.18	0.00
Tormes aguas abajo de Villagonzalo	100	0	0	0	87.77	28.01	351.09	116.05
Tormes en Contienda	100	6.09	0	-1	74.37	33.52	297.48	135.93
Tuerto antes de Duerna	0	-5.4	312	255	5.78	0.34	20.49	0.34
Valderaduey en Santervás de Campos	8.97	0	58	0	35.34	0	141.35	0
Voltoya en Coca	97.76	20.51	2	-3	53.84	17.71	215.34	120.57
Zapardiel antes del Duero	100	0	0	0	61.88	0.00	243.51	0.06
Promedio	75.90	2.58	25.63	7.72	50.39	3.91	185.09	18.01

Tabla 74. Resultados de índices de hábitat de series por tramo en la situación Propuesta. Incrementos respecto de la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Se observa una mejora general respecto de la situación Plan, de los resultados más bajos de las series por tramo. La excepción a esta mejora se da en el tramo Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo, aunque mantiene valores aceptables.

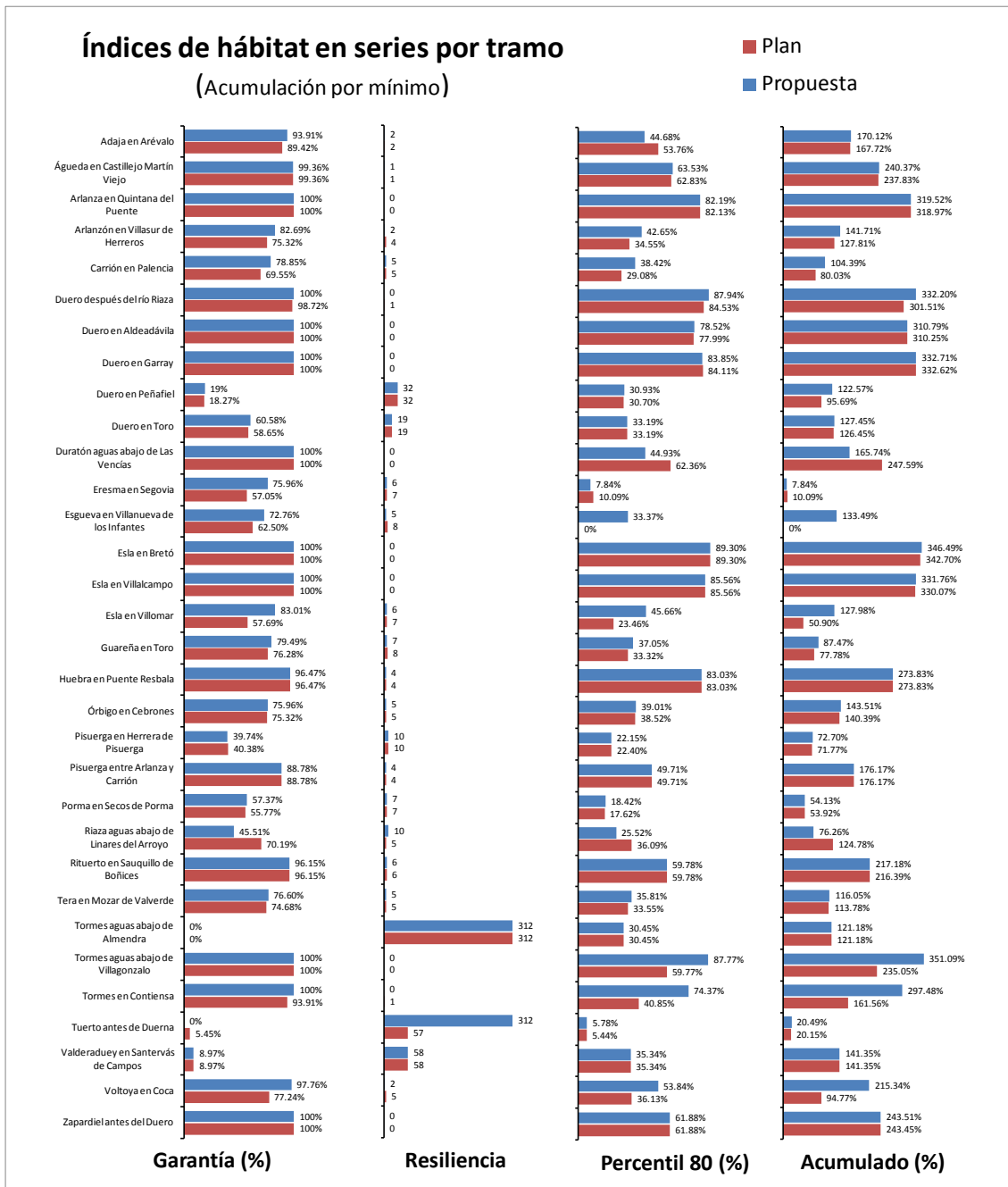


Figura 83. Resultados de índices de hábitat de series por tramo en la situación Propuesta. Comparación con la situación Plan. Acumulación por mínimos.

Se concluye que en la situación Propuesta, a excepción de los tramos Eresma en Segovia, Porma en Secos de Porma y Tuerto antes del Duerna, se mantienen unos valores mínimos de hábitat por tramo muy buenos, y en diversos casos excelentes.

Series de hábitat de detalle

Se aplica el criterio de garantía para las series de hábitat a las series de detalle acumuladas por promedio de porcentaje ponderado que se generan en la situación Propuesta, obteniendo 68 series de hábitat de detalle que no alcanzan los valores deseados. En la situación Plan, 94 de estas series de hábitat de detalle no alcanzaban los valores del criterio.

De las 68 series que no alcanzan el mínimo en la situación Propuesta, 64 tampoco lo hacen en la situación Plan, así que 4 series de hábitat fallan en la situación Propuesta y no en la Plan, y 30 fallan en la situación Plan y no en la Propuesta. Estos son los resultados de las 64 series que no alcanzan los mínimos en ambas situaciones:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Adulto	74.36	64.10	5	8	33.37	0	133.49	0
Carrión en Palencia/Barbo/Alevín	81.54	76.92	3	2	40.18	36.15	143.11	122.92
Carrión en Palencia/Trucha	94.87	89.74	4	4	81.06	52.83	230.70	164.63
Eresma en Segovia/Barbo/Juvenil	83.52	72.53	5	5	82.46	36.64	102.41	61.08
Eresma en Segovia/Trucha/Freza	86.54	68.27	4	4	42.88	10.09	83.61	20.18
Eresma en Segovia/Trucha/Juvenil	89.10	68.59	2	3	92.85	26.59	148.15	64.55
Esla en Villomar/Bordallo	83.65	76.92	6	6	50.59	32.22	135.93	79.15
Esla en Villomar/Bordallo/Adulto	83.33	76.28	6	6	46.91	31.68	132.25	78.61
Esla en Villomar/Trucha	89.42	81.41	6	6	62.99	42.89	184.43	110.43
Esla en Villomar/Trucha/Juvenil	83.33	70.51	2	2	49.15	24.31	137.37	48.63
Esla en Villomar/Trucha/Freza	80.77	76.92	4	4	39.33	29.21	98.13	82.02
Eresma en Segovia/Barbo	76.92	60.26	6	7	20.05	24.11	20.05	24.11
Eresma en Segovia/Barbo/Adulto	77.24	60.58	6	7	24.41	28.84	24.41	28.84
Eresma en Segovia/Trucha/Adulto	77.88	60.58	6	7	16.79	22.25	16.79	22.25
Adaja en Arévalo/Barbo/Alevín	85.38	82.31	2	2	47.47	41.33	132.12	119.89
Arlanzón en Villasur de Herreros/Barbo/Alevín	63.08	59.23	2	2	34.55	29.98	124.47	119.90
Carrión en Palencia/Trucha/Freza	71.15	68.27	4	4	16.76	11.80	32.84	26.66
Eresma en Segovia/Barbo/Alevín	66.92	43.08	3	4	0	0.00	0	0
Eresma en Segovia/Trucha	77.24	58.01	6	7	15.696	19.62	15.70	19.62
Guareña en Toro/Barbo	85.58	84.29	5	6	51.09	45.73	136.39	128.48
Guareña en Toro/Boga Duero	97.12	95.19	3	3	75.55	73.98	260.26	233.46
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Adulto	66.99	87.5	9	4	25.81	55.20	76.56	172.72
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Freza	76.92	89.42	4	3	34.62	59.65	117.94	165.36
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Adulto	0	10.90	312	24	5.78	5.71	20.49	20.43
Duero en Peñafiel/Barbo/Alevín	0	19.23	5	5	31.06	31.37	123.91	124.56
Duero en Peñafiel/Bermejuela	50.96	47.76	14	11	32.29	32.36	127.74	127.69
Duero en Peñafiel/Trucha	56.09	61.22	8	8	33.14	33.17	130.30	131.26
Duero en Peñafiel/Trucha/Adulto	44.87	47.12	14	11	33.16	33.20	132.49	132.54
Duero en Peñafiel/Trucha/Juvenil	0	21.79	6	6	30.51	30.70	121.69	122.08
Eresma en Segovia/Bermejuela	80.77	82.37	6	6	44.98	53.07	44.98	53.07
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo/Alevín	63.85	79.23	4	3	36.43	39.17	131.42	141.93
Carrión en Palencia/Trucha/Alevín	79.81	78.85	3	3	35.72	35.18	132.93	131.93
Duero en Toro/Barbo/Alevín	53.85	53.85	5	5	34.59	34.73	116.99	116.88
Duero en Toro/Bermejuela	76.92	76.60	7	7	36.17	35.99	135.73	135.56
Esla en Villomar/Trucha/Alevín	66.35	62.5	3	3	27.38	26.43	106.67	105.72
Guareña en Toro/Barbo/Adulto	79.49	76.28	7	8	37.05	33.32	87.47	77.78
Guareña en Toro/Barbo/Juvenil	84.62	86.81	5	6	43.81	44.08	124.61	124.14
Huebra en Puente Resbala/Barbo/Adulto	96.47	96.47	4	4	100	100	309.02	309.09
Órbigo en Cebrones/Barbo/Adulto	92.63	91.99	3	3	72.91	72.70	214.90	203.10
Órbigo en Cebrones/Trucha/Alevín	68.27	67.31	3	3	36.25	36.25	145.00	145.00
Órbigo en Cebrones/Trucha/Juvenil	76.92	76.92	4	4	39.40	39.27	148.86	148.69
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Barbo/Alevín	20.77	21.54	5	4	23.63	23.64	93.97	94.17
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha	92.31	91.99	4	4	43.04	45.04	158.19	157.68
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Alevín	25.96	25.96	4	4	19.40	18.90	70.15	68.00
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Freza	59.62	60.58	4	4	18.3	16.55	39.78	35.94
Pisuerga en Herrera de Pisuerga/Trucha/Juvenil	44.23	43.59	5	5	23.22	23.24	90.37	91.34
Pisuerga entre Arlanza y Carrión/Barbo/Alevín	73.08	73.08	4	4	38.38	38.38	153.51	153.51
Porma en Secos de Porma/Trucha	87.5	88.14	4	4	46.25	45.69	157.90	158.40
Porma en Secos de Porma/Trucha/Alevín	74.04	75	3	3	39.13	38.84	154.70	154.41
Porma en Secos de Porma/Trucha/Freza	0	0	4	4	9.15	9.56	36.61	37.02
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Alevín	79.81	78.85	3	3	38.26	38.25	141.02	137.48
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo	97.12	96.79	5	5	86.17	86.17	280.35	278.69
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Adulto	96.15	96.15	6	6	89.26	89.26	260.01	257.35
Rituerto en Sauquillo de Boñices/Barbo/Alevín	95.38	94.62	4	4	77.20	77.20	263.86	256.56
Tera en Mozar de Valverde/Trucha/Alevín	37.5	36.54	4	4	25.69	25.69	102.77	102.77
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo	50	50	6	6	34.68	34.68	138.05	138.05
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Adulto	0	0	312	312	30.45	30.45	121.18	121.18
Tormes aguas abajo de Almendra/Barbo/Juvenil	42.86	42.86	4	4	38.92	38.92	154.20	154.20
Tuerto antes de Duerna/Bordallo	26.60	24.36	21	22	6.06	6.00	20.77	20.72
Tuerto antes de Duerna/Bordallo/Alevín	79.23	76.15	5	5	35.33	32.82	107.43	100.69
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Alevín	50.96	50.96	4	4	20.57	20.57	82.28	82.28

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan
Tuerto antes de Duerna/Trucha/Freza	40.38	39.42	4	4	7.64	7.64	30.54	30.54
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo	41.67	41.67	7	7	35.34	35.34	141.35	141.35
Valderaduey en Santervás de Campos/Bordallo/Adulto	8.97	8.97	58	58	35.34	35.34	141.35	141.35

Tabla 75. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Propuesta ni en la situación Plan.

Predominan las mejoras respecto de la situación Plan. Las series que peores resultados presentan pertenecen, como no podía ser de otra manera, al tramo Eresma en Segovia.

De las 68 series de hábitat que fallan en la situación Propuesta, 4 no lo hacen en la situación Plan.

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan
Duero en Peñafiel/Barbo	94.55	94.23	3	2	58.06	56.94	194.93	198.93
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Barbo	85.26	100	5	0	47.02	61.91	155.26	231.63
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha	89.42	100	4	0	50.34	66.15	144.33	228.92
Riaza aguas abajo de Linares del Arroyo/Trucha/Adulto	81.41	100	5	0	40.36	74.09	117.80	245.67

Tabla 76. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Propuesta pero sí en la situación Plan.

Estas series empeoran sus resultados de hábitat respecto de la situación Plan. No cumplen el criterio por sus valores de resiliencia, pero tanto la garantía, el percentil 80 y el acumulado son suficientes en la situación Propuesta.

Las 30 series de detalle que cumplen el criterio de garantía en la situación Propuesta pero no en la situación Plan son:

Serie de hábitat	Garantía (%)		Resiliencia		Percentil 80 (%)		Acumulado (%)	
	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan	Propuesta	Plan
Arlanzón en Villasur de Herreros/Trucha/Freza	96.15	85.58	1	2	65.26	57.33	242.72	157.70
Duero en Peñafiel/Barbo/Adulto	100	87.18	0	6	83.85	77.77	253.60	160.54
Duero en Peñafiel/Boga Duero	100	93.59	0	5	94.23	94.00	362.75	286.34
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Adulto	100	94.23	0	4	95.94	94.95	370.42	301.23
Duero en Peñafiel/BogaDuero/Alevín	100	83.08	0	5	86.37	70.41	334.11	138.41
Duero en Peñafiel/Bordallo	100	94.55	0	4	96.34	95.22	375.47	304.96
Duero en Peñafiel/Bordallo/Adulto	100	94.23	0	4	94.45	93.55	365.30	295.17
Duero en Peñafiel/Bordallo/Alevín	100	86.92	0	4	96.71	93.64	382.88	218.33
Duero en Toro/Barbo/Adulto	100	98.08	0	4	85.29	86.36	330.96	301.05
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo	100	68.27	0	8	55.41	0	221.64	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Barbo/Alevín	100	33.85	0	5	70.10	0	260.83	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bermejuela	100	69.87	0	7	74.08	0	296.32	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Boga Duero	100	74.04	0	6	91.00	0	361.98	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Adulto	100	73.40	0	6	88.79	0	355.18	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/BogaDuero/Alevín	100	40	0	5	92.47	0	369.72	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo	100	74.04	0	6	72.64	0	225.35	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Adulto	100	74.04	0	6	72.64	0	225.35	0
Esgueva en Villanueva de los Infantes/Bordallo/Alevín	96.15	34.62	2	5	87.47	0	299.32	0
Esla en Villomar/Barbo/Adulto	100	77.56	0	4	67.47	35.79	262.16	70.83
Esla en Villomar/Barbo/Alevín	99.23	82.31	1	2	54.65	43.54	211.22	77.16
Esla en Villomar/BogaDuero/Alevín	100	83.08	0	2	89.61	42.99	345.06	70.78
Esla en Villomar/Bordallo/Alevín	100	86.92	0	1	91.92	81.85	363.70	149.41
Guareña en Toro/Bermejuela	97.44	95.83	2	3	72.17	69.93	246.27	238.43
Porma en Secos de Porma/Barbo/Alevín	91.54	86.92	2	2	53.17	46.67	173.23	153.87
Tera en Mozar de Valverde/Barbo/Alevín	88.46	84.62	2	2	62.19	52.97	172.59	145.39
Tormes en Contienza/Barbo/Alevín	100	85.38	0	1	74.37	40.85	297.48	157.89
Tuerto antes de Duerna/Barbo/Adulto	100	94.55	0	3	86.40	80.43	327.68	274.22
Voltoya en Coca/Barbo	99.68	87.82	1	5	69.86	54.36	259.70	150.48
Voltoya en Coca/Barbo/Adulto	99.68	79.17	1	5	53.84	38.63	215.34	99.35
Voltoya en Coca/Barbo/Alevín	95.38	80.77	2	3	69.58	41.27	235.25	121.35

Tabla 77. Índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía en la situación Plan pero sí en la situación Propuesta.

Por supuesto, las mejoras respecto de la situación Plan en los resultados de estas series son abundantes. Además, en muchas de ellas, se alcanzan valores de HPU excelentes en la situación propuesta (las series pertenecientes al tramo Esgueva en Villanueva de los Infantes son claros ejemplos).

Del recuento y análisis de las series que en la situación Propuesta no cumplen el criterio de garantía se deduce que En la situación Base hay menos series de hábitat con valores demasiado bajos de HPU que en la Plan. Además, el acumulado y el percentil 80 de las series de detalle que no cumplen el criterio son más elevados, por lo que se deduce que se aseguran valores mínimos de HPU más altos.

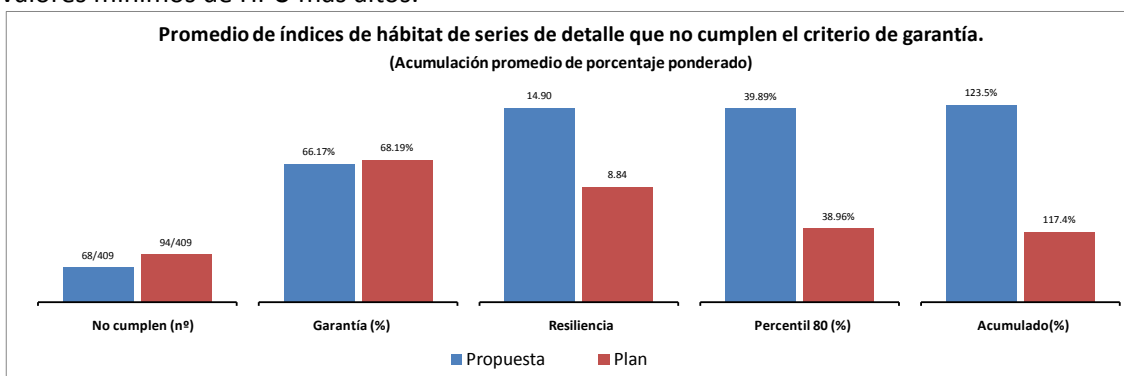


Figura 84. Promedio de índices de hábitat de series de detalle que no cumplen el criterio de garantía.

Los resultados de hábitat de las series no acumuladas y acumuladas por etapa mediante la acumulación por promedio de porcentaje ponderado que se producen en la situación Propuesta, así como las variaciones de estos resultados respecto los mismos en la situación Plan, pueden consultarse en el Anejo IV, Resultados de detalle de hábitat. Situaciones Plan, Base y Propuesta.

4.5.4. Resumen de resultados en la situación propuesta

– Suministro a la demanda agraria

El suministro de 30 de las 75 unidades de demanda agraria es total, sin déficits (43 en la situación Plan). En la situación Propuesta se admiten incrementos en los déficits respecto de la situación Plan, según el criterio adoptado en el proceso de optimización y en el refinamiento del proceso de optimización. Pese a ello, el número de fallos UTAH desciende. Esto significa que se generan menos situaciones inaceptables de suministro a demandas en la situación Propuesta que en la Plan.

El criterio de aumento de déficits adoptado sigue dos pautas bien diferenciadas. Este criterio podría modificarse en trabajos futuros.

1. Para las UDA que no se suministran sin fallos UTAH en la situación Base, permite incrementos en los déficits justo hasta el umbral de definición de fallo de suministro. Como consecuencia, no aparecen fallos en demandas suministradas sin fallo en la situación Base.
2. En UDA con fallo de suministro según el criterio UTAH de la IPH se admiten incrementos en los déficits muy leves.

De las 75 unidades de demanda agraria, 46 no sufren variaciones significativas en su suministro en la situación Propuesta respecto de la situación Plan, pero de las 29 que sí lo hacen, predominan aquellas en las que los déficits crecen respecto de la situación Plan, manteniéndose siempre dentro de los valores preestablecidos.

Los sistemas con peor suministro siguen siendo los mismos, Alto Duero, Pisuerga, Tormes, Órbigo y sobre todo es sistema Adaja-Cega. Los sistemas mejor suministrados son Esla-Valderaduey, Arlanza, Bajo Duero y Águeda.

El único sistema cuyo suministro mejora sensiblemente respecto de la situación Plan es el Adaja-Cega. En todos los sistemas hay unidades de demanda agraria con déficits.

- Producción de energía hidroeléctrica.

La producción hidroeléctrica en la cuenca aumenta hasta los 7426,35 GW·h/año (7377.2 GW·h/año en la situación Plan). Este incremento se distribuye entre varias centrales, pudiéndose destacar Saucelle y Aldeadávila, mientras que en la central de Villarino se produce un leve descenso de producción, respecto de la situación Plan.

En trabajos futuros podría incluirse el estudio de la afección a las distintas compañías suministradoras de energía hidroeléctrica.

- Resultados de hábitat por especie.

De las series de hábitat por especies, las que más aumentan su HPU respecto Plan son el Barbo y la Boga de río o Boga común. Aunque todas las series de hábitat por especies presentan excelentes resultados tanto en la situación Propuesta como en la Plan, se advierte un aumento generalizado del HPU en la situación Propuesta.

- Resultados de hábitat por tramo.

Se advierte un incremento del hábitat potencial útil en muchos de los tramos, siendo el más destacable el aumento del hábitat en Esgueva en Villanueva de los Infantes. Todas las series de hábitat por tramo presentan resultados de HPU elevados a excepción del tramo Eresma en Segovia, con resultados muy deficientes. El hábitat en este tramo muestra valores muy bajos ya en la situación Plan.

- Resultados de hábitat de detalle.

En la situación Propuesta, 68 series de hábitat de detalle no alcanzan los valores del criterio de garantía para las series de hábitat, por 94 series en la situación Plan. Este número ya indica aumentos importantes del HPU disponible, pero además, las series que no alcanzan el criterio de garantía presentan mejores resultados de los índices percentil 80 y acumulado en la situación Propuesta, por lo que los valores más bajos de estas series son superiores que en la situación Plan.

5. Conclusiones

En este estudio se persigue como objetivo principal establecer una metodología para estimar el efecto de la imposición de caudales ecológicos en cuencas complejas y así ayudar en su definición. Este estudio se ha aplicado sobre el diseño de regímenes de caudal ecológico de la parte española de la cuenca del río Duero.

La metodología consistente en realizar un uso combinado de las Series Temporales de Hábitat y modelos de simulación de cuencas. El uso combinado de ambas herramientas permite obtener indicadores ambientales, de satisfacción de demanda y de producción de energía para todos los elementos del sistema de explotación.

Como herramientas básicas se han utilizado los programas SIMGES y CAUDECO pertenecientes al Sistema Soporte de Decisión AQUATOOL desarrollado en el departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. El programa SIMGES permite desarrollar modelos de la simulación de la gestión del agua en sistemas de recursos hídricos y poder estimar, entre otras muchas cosas, indicadores de satisfacción de demanda y producción de energía hidroeléctrica. Por otro lado el programa CAUDECO permite obtener STH a partir de curvas HPU-Q para diferentes especies, etapas vitales y masas de agua. Además permite realizar múltiples formas de acumulación de las STH y así poder analizar los caudales ecológicos de toda una cuenca de forma conjunta.

La metodología que se ha presentado consta de dos partes. La primera se basa en estimar el efecto de la imposición de cada caudal ecológico de forma individualizada a diferentes niveles de aplicación. La segunda consiste en plantear una forma de mejorar el hábitat potencial en toda la cuenca sin afectar significativamente al suministro de las demandas y la producción de energía hidroeléctrica.

Previamente a aplicar ambas fases del estudio se comparan la situación Base (con caudales ecológicos establecidos en el mínimo legal) con la situación Plan⁹ (situación prevista en el PHD para 2015). De esta comparación se deduce que tiene sentido proseguir con el análisis, pues con la situación Base los niveles de suministro a unidades de demanda agraria se mantienen en valores aceptables, disminuye incluso el número de UDA con fallos de suministro, la producción de energía hidroeléctrica se incrementa y el hábitat mejora levemente.

Partiendo de este análisis preliminar el primer paso del estudio tiene como objetivo caracterizar el efecto de cada caudal ecológico por separado, es decir, identificar qué variables se ven afectadas y en que magnitud, a medida que se impone un régimen ecológico mínimo más alto en un único tramo de simulación de hábitat.

⁹ La situación Plan incluye en sus reglas de gestión la reserva de caudal por motivos ecológicos correspondiente a la versión anterior del PHD, junto con algunas propuestas iniciales de regímenes ecológicos formuladas por técnicos de la CHD en el proceso de desarrollo del PHD.

Debido a la gran cantidad de pruebas requeridas fue necesario el desarrollo de una aplicación informática que por un lado hiciera simulaciones múltiples de los modelos de simulación y estimación de STH y por otro permitiese analizar los masivos resultados que se generan. La estrategia para el análisis de todos estos resultados consistió en identificar inicialmente las afecciones globales, a gran escala (escala de cuenca y de sistema de explotación), de indicadores de satisfacción de demanda, producción de energía y de hábitat potencial. Con ellas, dirigir el análisis de los resultados de detalle hacia las variables que puedan mostrar información relevante.

Destacar que para este análisis, y para el resto del estudio, se propusieron y usaron unos indicadores ambientales que representaban la garantía, la resiliencia y la vulnerabilidad del hábitat potencial de las especies piscícolas.

De la valoración del efecto individual de cada caudal ecológico mínimo se destaca lo siguiente:

- Los únicos caudales ecológicos que pueden tener efectos de magnitud sobre la producción de energía hidroeléctrica son los de Tormes aguas abajo de Almendra y Duero en Toro. El primero afecta negativamente, es decir, cuanto mayor es el caudal ecológico impuesto menos energía se genera. El de Duero en Toro tiene un efecto positivo. La imposición de regímenes ecológicos en el resto de tramos no afecta a la producción, o lo hace de manera local y en poca magnitud. Si hay afección, generalmente es positiva.
- Los caudales ecológicos de 9 de los 32 tramos estudiados tienen una afección despreciable sobre los tres tipos de indicadores (demandas, producción y hábitat). Se encuentran en zonas de cabecera, con pocas demandas y centrales asociadas.
- Hay 5 tramos cuyos caudales ecológicos tienen un efecto despreciable sobre las demandas, pero el efecto sobre el hábitat es de cierta magnitud.
- De la misma manera, el caudal ecológico de 5 tramos afecta a resultados de demandas, mientras que el efecto sobre el hábitat es local y de poca magnitud.
- El efecto del caudal ecológico en 10 de los tramos es significativo tanto para las demandas como para el hábitat. El valor de caudal ecológico en estos tramos debe satisfacer, en la medida de lo posible, las dos caras del objetivo del estudio.
- Hay 3 tramos cuyo caudal ecológico tiene una influencia especial, por la magnitud del efecto que genera, o por su extensión. Duero en Toro y Duero en Peñafiel afectan a los tres tipos de indicadores en una extensión muy importante, y en una magnitud a tener en cuenta. El caudal de Tormes aguas abajo de Almendra tiene un efecto localizado importantísimo sobre la producción en la central de Villarino, repercutiendo a escala de cuenca, y un efecto de magnitud también importante sobre el HPU del propio tramo.
- Como norma general, cuanto mayor es el caudal impuesto, mayores son los déficits en las demandas, más energía hidroeléctrica se genera, y más HPU se crea para las especies.
- Se elabora un listado de los caudales ecológicos en los distintos tramos, ordenándolos de mayor a menor influencia sobre los resultados de la cuenca. Se identifica un valor de caudal ecológico propuesto, a priori, para cada tramo, o en su defecto un rango de variación más acotado que el inicial.
- Se concluye que es conveniente excluir, para el resto del estudio, el caudal ecológico en Tormes aguas abajo de Almendra debido a su particular afección sobre la producción de energía y a que se puede tratar de forma independiente del resto de caudales.

Los resultados del análisis del efecto individual constituyen una primera aproximación que ayudan a conocer el sistema y los posibles efectos de su implantación. El efecto conjunto de los distintos caudales ecológicos puede ser distinto a la suma de los efectos individuales. Pese a ello, la valoración del efecto individual de cada caudal ecológico es de gran ayuda para el análisis conjunto.

La última etapa del estudio se basa en, partiendo de unos caudales ecológicos iniciales impuestos en todos los lugares de estudio, intentar obtener los máximos valores de hábitat potencial en toda la cuenca manteniendo unos criterios de garantía de las demandas y sin afectar la producción de energía hidroeléctrica. Para ello se desarrolla un método de optimización heurística de aumento de regímenes ecológicos. El resultado de esta optimización será la propuesta de regímenes ecológicos final, que debe satisfacer el objetivo inicial del estudio.

El diseño del proceso de optimización se basa en las siguientes deducciones del análisis del efecto individual de los regímenes ecológicos:

- Cuanto mayor es el caudal ecológico impuesto, más HPU se produce. Esta idea se cumple de manera general.
- Cuanto mayor es el caudal ecológico impuesto, más energía hidroeléctrica se produce. La única excepción que se debería tener en cuenta es el régimen de caudal ecológico mínimo de Tormes aguas abajo de Almendra, que ha sido eliminado del proceso de optimización, por lo que se puede usar este concepto sin reparos.
- Los déficits de suministro a unidades de demanda agraria crecen con la imposición de caudales ecológicos más elevados.

Tomando como base estas premisas, se opta por un proceso de optimización que aumente los regímenes de caudal ecológico impuestos sin más precaución que la de evitar que los déficits de suministro en las UDA se disparen fuera de límites aceptables.

Se define un criterio de déficit aceptable individualizado para cada unidad de demanda agraria. Este criterio permite que los déficits de las UDA que en la situación Base se suministran sin fallo, aumenten hasta el umbral de fallo de suministro¹⁰. Para las UDA que en la situación Base sufren fallos de suministro, se admite un ligerísimo incremento en los déficits.

La pauta a seguir para aumentar los regímenes ecológicos en el proceso de optimización consiste en fijar un orden de los tramos, y aumentar el caudal ecológico en cada tramo siguiendo este orden, justo hasta el valor del caudal ecológico inmediatamente inferior al que rebasa el criterio de déficit aceptable en alguna de las unidades de demanda agraria. En este momento, se procede al aumento del caudal ecológico en el siguiente tramo, según el orden especificado. La combinación de regímenes ecológicos inicial, a partir de la cual se aumentan los caudales ecológicos, es la correspondiente a la situación Base.

¹⁰ Fallo de suministro según el criterio UTAH para las demandas agrarias adoptado en la IPH.

La realización de este proceso implica la simulación del modelo SIMGES de la cuenca repetidas veces, hasta un máximo de 310 simulaciones, pues forman parte del proceso 31 tramos de caudal ecológico mínimo, con 10 valores posibles en cada tramo. En cada simulación se debe analizar los resultados de déficits a cada una de las 75 UDA del modelo, y evaluar el criterio de déficit aceptable que se adopta, para la combinación de regímenes ecológicos impuesta. Ante la imposibilidad de efectuar este proceso manualmente, se implementa otra aplicación de Visual Basic apoyada en una hoja de cálculo Excel que ofrece directamente, tras alrededor de 5 horas de computación, la combinación de regímenes ecológicos resultante.

Este proceso de optimización ha sido ensayado 6 veces, imponiendo distintos órdenes de aumento del caudal ecológico de los tramos. De estas simulaciones se deduce que la mejor opción es ordenar de menor a mayor influencia sin fijar previamente el caudal ecológico en ningún tramo. La mayor o menor influencia, ciertamente un aspecto algo subjetivo debido a la gran cantidad de variables que se manejan, se desprende del análisis individual de los caudales.

Posteriormente se realiza un refinamiento de la búsqueda de la situación óptima de caudales mediante la realización de 2 nuevos ensayos del proceso de optimización. En estos nuevos ensayos se modifican ligeramente los criterios de satisfacción de demandas, y se emplean nuevos órdenes de aumento de caudal ecológico en los tramos deducidos de los resultados de los 6 ensayos iniciales del proceso de optimización.

La mejor opción obtenida de este refinamiento constituye la solución del objetivo buscado, es decir, es la que más hábitat potencial útil genera sin llevar los déficits de suministro de las demandas de la cuenca fuera de valores aceptables, y sin penalizar en exceso la producción de energía hidroeléctrica (de hecho, la producción de energía hidroeléctrica aumenta).

De esta simulación Propuesta se destaca lo siguiente:

- Suministro a la demanda agraria. En la situación Propuesta, 30 de las 75 unidades de demanda agraria se suministran totalmente, sin déficits (43 en la situación Plan). En la situación Propuesta se admiten incrementos en los déficits respecto de la situación Plan, según el criterio adoptado en el proceso de optimización y en el refinamiento del proceso de optimización. Pese a ello, el número de fallos UTAH desciende. Esto significa que se generan menos situaciones inaceptables de suministro a demandas en la situación Propuesta que en la Plan. Este criterio podría modificarse en trabajos futuros.
- De las 75 unidades de demanda agraria, 46 no sufren variaciones significativas en su suministro respecto de la situación Plan, pero de las 29 que sí lo hacen, predominan aquellas en las que los déficits crecen respecto de la situación Plan.
- Los sistemas con peor suministro siguen siendo los mismos, principalmente Adaja-Cega y también los sistemas Alto Duero, Pisuerga, Tormes y Órbigo. Los sistemas mejor suministrados son Esla-Valderaduey, Arlanza, Bajo Duero y Águeda.
- El único sistema cuyo suministro mejora sensiblemente respecto de la situación Plan es el Adaja-Cega. En todos los sistemas hay unidades de demanda agraria con déficits.
- La producción hidroeléctrica en la cuenca aumenta en cerca de 50 GW·h/año (casi 0,7% de la producción total). Este incremento se distribuye entre varias centrales, pudiéndose destacar Saucelle y Aldeadávil. En trabajos futuros podría incluirse el

estudio de la afección a las distintas compañías suministradoras de energía hidroeléctrica.

- De las series de hábitat por especies, las que más aumentan su HPU respecto al escenario Plan son el Barbo y la Boga de río o Boga común. Aunque todas las series de hábitat por especies presentan excelentes resultados tanto en la situación Propuesta como en la Plan, se advierte un aumento generalizado del HPU en la situación Propuesta.
- Se advierte un incremento del HPU en muchos de los tramos, siendo el más destacable el aumento del hábitat en Esgueva en Villanueva de los Infantes. Todas las series de hábitat por tramo presentan resultados de HPU elevados a excepción del tramo Eresma en Segovia, con resultados muy deficientes. El hábitat en este tramo muestra valores muy bajos ya en la situación Plan.
- En la situación Propuesta, 68 series de hábitat de detalle no alcanzan los valores del criterio de garantía para las series de hábitat, por 94 series en la situación Plan. Este número ya indica aumentos importantes del HPU disponible, pero además, las series que no alcanzan el criterio de garantía presentan mejores resultados de los índices percentil 80 y acumulado en la situación Propuesta, por lo que los valores más bajos de estas series son superiores que en la situación Plan.

Con respecto a los métodos de acumulación de series de hábitat comentar que tanto la acumulación promedio de porcentaje ponderada como la multiplicativa ponderada resuelven satisfactoriamente la cuestión de la simplificación de la información relevante. Debido a las características de los dos métodos, para este estudio resultaba más adecuada la acumulación por promedio de porcentaje ponderada, pues no diluye las variaciones de los resultados de hábitat de los tramos más pequeños en los de mayor entidad. En referencia a la acumulación por mínimos comentar que los resultados que ofrece al agregar un número tan importante de series son tan peyorativos que solamente sirve para identificar aquellas series de valores de HPU excelentes.

Atendiendo al criterio de fallo mensual de hábitat fijado en 40% del HPU máximo comentar que ha reflejado con gran fidelidad las variaciones en los valores de hábitat entre distintas simulaciones, si bien en futuros trabajos sería aconsejable la posibilidad de definir un criterio de fallo mensual de HPU particular en cada tramo, en concordancia con las exigencias legales.

En cuanto a los índices de hábitat definidos se destacaría el buen funcionamiento de todos ellos. A excepción de los casos de series de HPU que presentan continuamente valores muy bajos o muy altos, la garantía plasma un resultado medio del hábitat a lo largo del periodo de la serie, mientras que la resiliencia, pese a su ligera variabilidad, ofrece información que en determinadas situaciones resulta clave. Los índices de la vulnerabilidad del sistema, percentil 80 y acumulado, consiguen evidenciar los peores resultados de hábitat que se alcanzan en la serie, y aunque en futuros estudios similares al actual pudiera ser interesante desprenderse del cálculo de uno de los dos, en el presente estudio se han complementado en numerosas ocasiones.

Con todo ello se puede concluir que la metodología propuesta ha permitido definir una combinación de caudales ecológicos óptima en múltiples indicadores manteniendo unos niveles preestablecidos de satisfacción de demanda y de producción de energía.

Este proceso se ha elaborado a una escala de trabajo muy extensa. Su aplicación en una escala de sistema de explotación permitiría obtener más precisión en los cálculos.

Así mismo también sería interesante la aplicación de esta metodología en otras cuencas. Ello validaría el proceso de trabajo y confirmaría las conclusiones obtenidas sobre los indicadores utilizados.

En cualquier caso, con este estudio se presenta una metodología útil para estimar el efecto de la imposición de caudales ecológicos en sistemas complejos de explotación de recursos hídricos y así alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua requerido por la Directiva Marco en Política de Aguas.

6. Bibliografía

- J. Ferrer, J. Capilla, A. Solera y J. Andreu. “*Modelo SIMGES para Simulación de cuenca. Manual de usuario v 3.00*”. DIHMA, Universidad Politécnica de Valencia.
- J. Paredes, A. Solera y J. Andreu. “*AQUATOOL SSD para Planificación de Cuencas. Manual de usuario v1.0*”. DIHMA, Universidad Politécnica de Valencia.
- F. Magdaleno Mas. “*Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones*”. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX. Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente.
- M. González del Tánago, D. García de Jalón. “*Restauración de Ríos y Riberas*”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid 1998.
- J. Paredes. “*Manual del programa CAUDECO. Versión Beta 1.0*”.
- S. Diéguez, V. Villanueva, Y. Camarero, V. M. Arqued. “*Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrológica del Duero. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de Cuenca*”. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- V. M. Arqued et al. “*Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrológica del Duero. Esquema Provisional de Temas Importantes*”. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Valladolid 2009.
- V. Villanueva. “*Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrológica del Duero. Estudio General de la Demarcación. Tomo II: Anexo de actualización*”. Confederación Hidrográfica del Duero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Valladolid 2007.
- J. M. Hernández, J. Ferrer, A. Peris, A. Hernández, F. Martínez. Capel, M. Bargay. “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos*”.2008.
- Infraeco. “*Estudio de Caudales Ecológicos en Masas de Agua Superficiales en la Demarcación del Duero. Fase I: Evaluación del Hábitat Acuático en masas estratégicas. Rhyhabsim.*”. Enero de 2009.
- J. M. Díez Hdez. “*Análisis Comparativo de los Métodos Actuales de Simulación Hidráulica en PHABSIM-IFIM y su Influencia en la Evaluación del Hábitat Fluvial*”. DIAF de la Universidad de Valladolid. A- 344-2006.

- Andreu et al., 1996. J. Andreu, J. Capilla y E. Sanchís. "AQUATOOL: A generalized decision support-system for water-resources planning and operational management". Publicado en "Journal of hydrology". 177 (1996) 269-291.
- P. Parasiewicz. "Habitat Time Series Analysis to define Flow Augmentation Strategy for the Quinebaug River, Connecticut and Massachusetts, USA". Publicado online en Wiley InterScience, River Research and Applications, 2008.
- R. T. Milhous. "Development of a Habitat Time Series".
- D. Bovee, T. J. Waddle, J. Bartholow, L. Burris. "A Decision Support Framework for Water Management in the Upper Delaware River". USGS Open-File Report 2007-1172 Virginia, Estados Unidos 2007.
- R. T. Milhous. "Mixing Physical Habitat and Streamflow Time Series Analysis". International IFIM Users' Workshop, 2003. Fort Collins, Colorado, EE.UU.
- R. T. Milhous. "History, Theory, Use and Limitations of the Physical Habitat Simulation System". Midcontinent Ecological Science Center U.S. Geological Survey Fort Collins, Colorado, EE.UU (1999).
- S. E. Bunn, A. H. Arthington. "Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity". Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, Griffith University.
- D. A. Hughes, S. J. L. Mallory. "Including Environmental Flow Requirements as Part of Real-Time Water Resource Management". Institute for Water Research, Rhodes University, Grahamstown, South Africa.
- Berton Lee Lamb. "Criteria for Evaluating State Instream-Flow Programs. Deciding what works". Publicado en Journal of Water Resources Planning and Management n° 270. (Junio de 1995).
- F. J. Purroy, J. Costa. "Fauna del Duero". Departamento de zoología de la Universidad de León.
- C. Stalnaker, B. L. Lamb, J. Henriksen, K. Bovee, J. Bartholow. "The Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM". National Biological Service, U.S. Department of Interior. BR29, Marzo de 1995.
- UE-2000. Directiva 2000/60/CE del parlamento europeo y del consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. UE. Parlamento Europeo, 23 de octubre de 2000.

MMA, 1999. Ministerio de Medio Ambiente. "Libro blanco del Agua en España"