

ANEXO 1. DESARROLLO DE UN NUEVO
MÓDULO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA
MODELACIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS
SISTEMAS (ACTIVIDADES 1-1, 1-2 Y 1-3)

1. Desarrollo de un nuevo módulo para la incorporación de la modelación ecológica en la gestión de los sistemas.

1.1. 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.

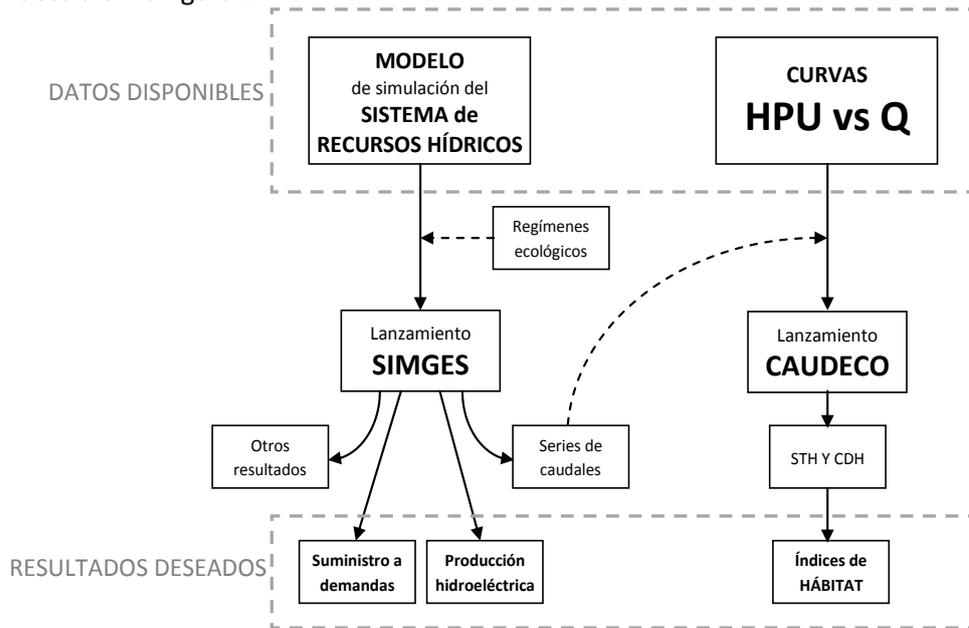


Figura 1. Esquema de producción de resultados para cada combinación de regímenes ecológicos ensayada.

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.

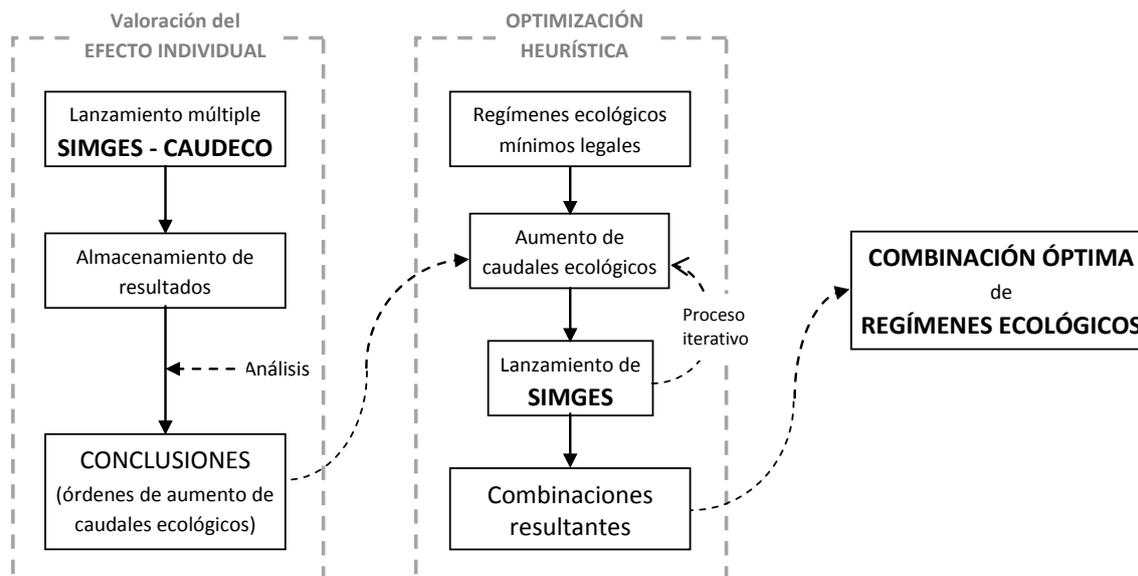


Figura 2. Esquema de organización de las simulaciones en el desarrollo del estudio.

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.

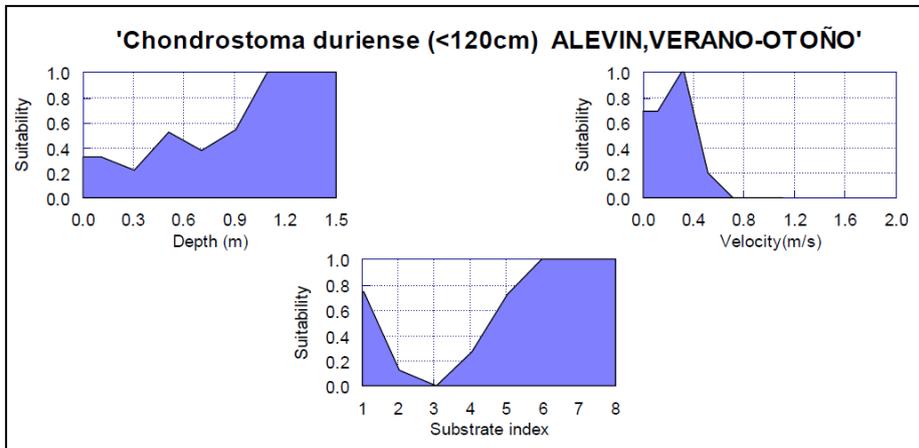


Figura 3. Curvas de preferencia de hábitat. Fuente: Infraeco 2009.

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:

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.

1.2. Diseño de la herramienta: archivos de datos, formas de integración de resultados, etc.

1.3. Proceso de programación de la herramienta.

En relación con los apartados 1.2. y 1.3. se presenta, a continuación, el desarrollo y diseño del programa CAUDECO, nombre dado a la herramienta. La programación de la herramienta se está realizando en FORTRAN de forma que se facilite la interacción entre ésta y el resto de programas incluidos en el Sistema Soporte a la Decisión AQUATOOL DMA.

INTRODUCCIÓN

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.

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.

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 la 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.

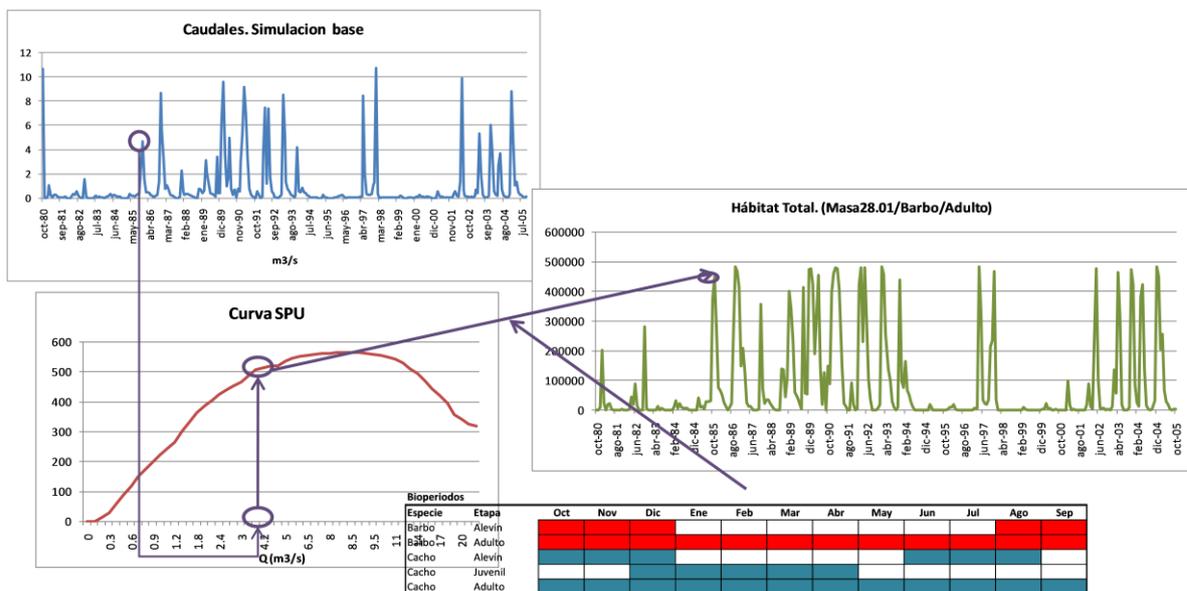


Figura 1. Esquema de cálculo de las series de Hábitat total-

(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.

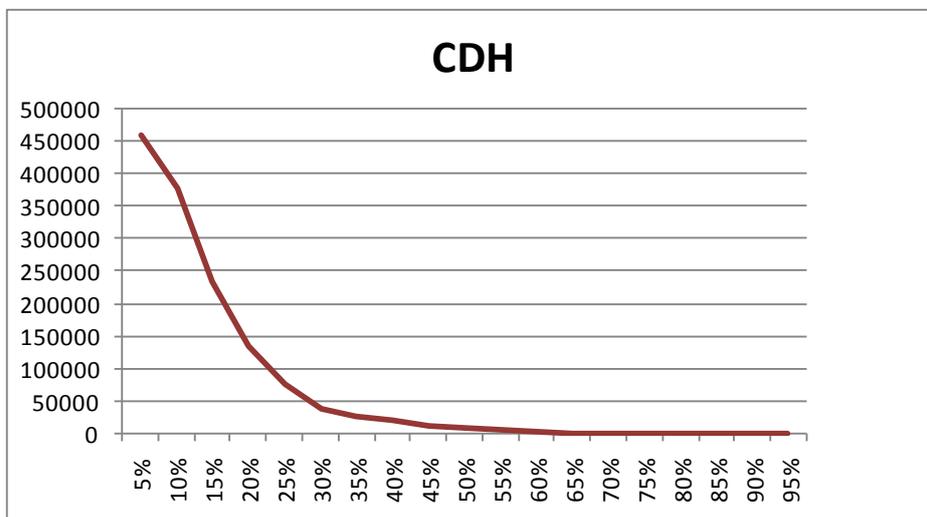


Figura 2. Curva de Duración de Hábitat.

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. 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.

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 , $m^2/1000m$, 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.

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.

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: m^2 , 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 m^2

Salida de resultados: m^2 , 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 m^2

Salida de resultados: m^2 , coeficiente de unidades de HPU igual a 0.

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

Descripción: mínimo valor de HPU en 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 %

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

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

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

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

}

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

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.

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.

1. 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 ***”.

2. 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 m², 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 3r 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. 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: “***Estadístico***”.

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.

4. 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.

5. 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.

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.