

Resumen

MesoHABSIM es una metodología de modelización del hábitat fluvial, que permite cuantificar el hábitat disponible para la fauna acuática y realizar simulaciones bajo circunstancias ambientales muy variadas. Supone un salto cualitativo respecto a los modelos clásicos de hábitat físico, debido a que está diseñado para trabajar a escala de cuenca fluvial. Esto lo hace especialmente eficaz como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de ríos y cuencas. Tiene aplicaciones en Evaluación de Impacto Ambiental, determinación de regímenes ecológicos de caudales o en la planificación de la restauración de ríos.

Palabras clave:

MesoHABSIM, Mesohábitat, Unidad hidromorfológica (UHM), Escala, Hábitat físico, Simulación del hábitat.

Abstract***MesoHABSIM: an effective tool for river and watershed management***

MesoHABSIM is an approach to modelling instream habitats. It allows a user to compute how much habitat is available for selected aquatic fauna under specific environmental circumstances. It overcomes the classical physical habitat models, since it is designed to work in a catchment scale. For this reason it is a very efficient tool for the decision making in the management of rivers and watersheds. MesoHABSIM has applications in Environmental Impact Assessment, in the design of Ecological Flow Regimes or in river restoration planning.

Keywords:

MesoHABSIM, Mesohabitat, Hydro-morphologic Unit (HMU), Scale, Physical habitat, Habitat simulation.

MesoHABSIM: una herramienta eficaz para la gestión de ríos y cuencas fluviales

Por **Piotr Parasiewicz¹, Javier Gortázar Rubial^{2,3*}, Maricruz Mateo Sánchez¹, y Diego García de Jalón Lastra³**

¹ RUSHING RIVERS INSTITUTE

Amherst, Massachusetts, EEUU
Internet: www.rushingrivers.org

² ECOHIDRÁULICA

* Javier Gortázar Rubial
Ecohidráulica (I+D+i en gestión del agua)
Calle Rodríguez San Pedro 13, Of. 407
28015 Madrid
Tel.: 822 024 545 - 650 841 066
Internet: www.ecohidraulica.com

³ UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Grupo de Investigación Hidrobiología

1. Introducción

En la actualidad se emplean con frecuencia en España modelos de simulación del hábitat físico, especialmente para la determinación de caudales ecológicos. En la mayoría de los casos se trata de modelos que trabajan en la escala del micro hábitat (por ejemplo PHABSIM, River2D, etc.), entendiendo como micro hábitat las condiciones precisas de profundidad, velocidad del agua y tamaño del sustrato en un punto concreto del río. Un inconveniente de los modelos de micro hábitat es el excesivo esfuerzo necesario para caracterizar el hábitat físico, que requiere de una topografía de detalle o de la realización de numerosos transectos transversales. Como consecuencia de esto, generalmente sólo es posible caracterizar tramos de río con una longitud del orden de pocos cientos de metros. Esto conduce al segundo

inconveniente, que es la dificultad de extrapolar los resultados obtenidos en una pequeña zona del río a un tramo mayor. Para paliar los inconvenientes de trabajar a nivel de micro hábitat, la investigación sobre modelos de hábitat físico ha conducido de manera natural a un cambio de escala, apareciendo modelos enfocados en la escala del meso hábitat. El meso hábitat corresponde al área en que puede observarse a un animal durante una parte significativa de su rutina diaria.

El modelo que se presenta aquí, MesoHABSIM, se desarrolló a partir de modelos de micro hábitat mediante sucesivas reducciones en la toma de datos de campo, estudiándose al mismo tiempo los efectos de tales modificaciones en los resultados del modelo. Su desarrollo fue la respuesta a la necesidad de herramientas para la evaluación del hábitat a escala de cuenca fluvial,

que fueran aplicables en la gestión de ríos. Era indispensable crear un marco de modelización que proporcionara resultados razonables y científicamente robustos en el tratamiento de las cuestiones prácticas de la gestión.

En el desarrollo del modelo MesoHABSIM, el rendimiento en los muestreos de campo fue mejorando paulatinamente mediante reducciones graduales de la densidad de datos necesarios. Desde el primer prototipo se han incorporado diversas mejoras (Parasiewicz 1996, 2001, 2007b), basadas en el estudio de los resultados obtenidos con las versiones anteriores y en la validación de sus predicciones. La evolución del modelo MesoHABSIM ha conducido, por el momento, al modelo que se presenta aquí. No obstante, no se trata de un modelo cerrado sino que continúa evolucionando e incorporando mejoras en sus diversos elementos. Para profundizar puede estudiarse la descripción detallada de Parasiewicz (2007) o asistir al curso que se imparte en la Universidad Politécnica de Madrid.

2. Descripción y fundamentos

MesoHABSIM es una metodología para la modelización del hábitat fluvial. Consiste en una estrategia de recogida de datos y un conjunto de técnicas analíticas que permiten al usuario calcular la cantidad de hábitat disponible para un determinado grupo de fauna, bajo circunstancias muy variadas. MesoHABSIM dispone además de un software llamado SimStream, que es una herramienta de gran utilidad en la gestión de los datos, el control de calidad y la realización de los cálculos fundamentales.

El modelo MesoHABSIM se asienta en los principios biológicos de las especies y comunidades fluviales. El concepto subyacente es que la fauna reacciona ante los cambios ambientales en diferentes escalas, que están relacionadas con el tamaño y la movilidad de las especies y con el tiempo de uso de los diferentes ambientes. Las unidades a nivel de meso escala se definen como aquellas áreas en las que puede observarse a un animal durante una parte significativa de su rutina

diaria, lo que se aproxima al concepto de 'hábitat funcional' (Kemp *et al.* 1999). Debido a la movilidad natural de los peces, las observaciones en la meso escala están menos afectadas por coincidencias, casualidades o por el momento de la observación, que si se realizaran en la micro escala y por tanto aportan una información más robusta acerca de los patrones de uso del hábitat por parte de las especies.

En los modelos basados en la micro escala, la unidad de trabajo es cada punto concreto del río, caracterizado por una serie de variables, principalmente la velocidad del agua, la profundidad y el diámetro del sustrato. En cambio MesoHABSIM trabaja en la meso escala y su unidad de estudio es el meso hábitat. Un meso hábitat es una unidad hidromorfológica (UHM) en la que hay unas determinadas características de hábitat. Una UHM es una zona del río definida por una determinada interacción entre sus características hidráulicas y la topografía del lecho (**Figura 1** y **Tabla 1**). Un ejemplo de UHM es una poza, caracterizada por su superficie lisa, le-

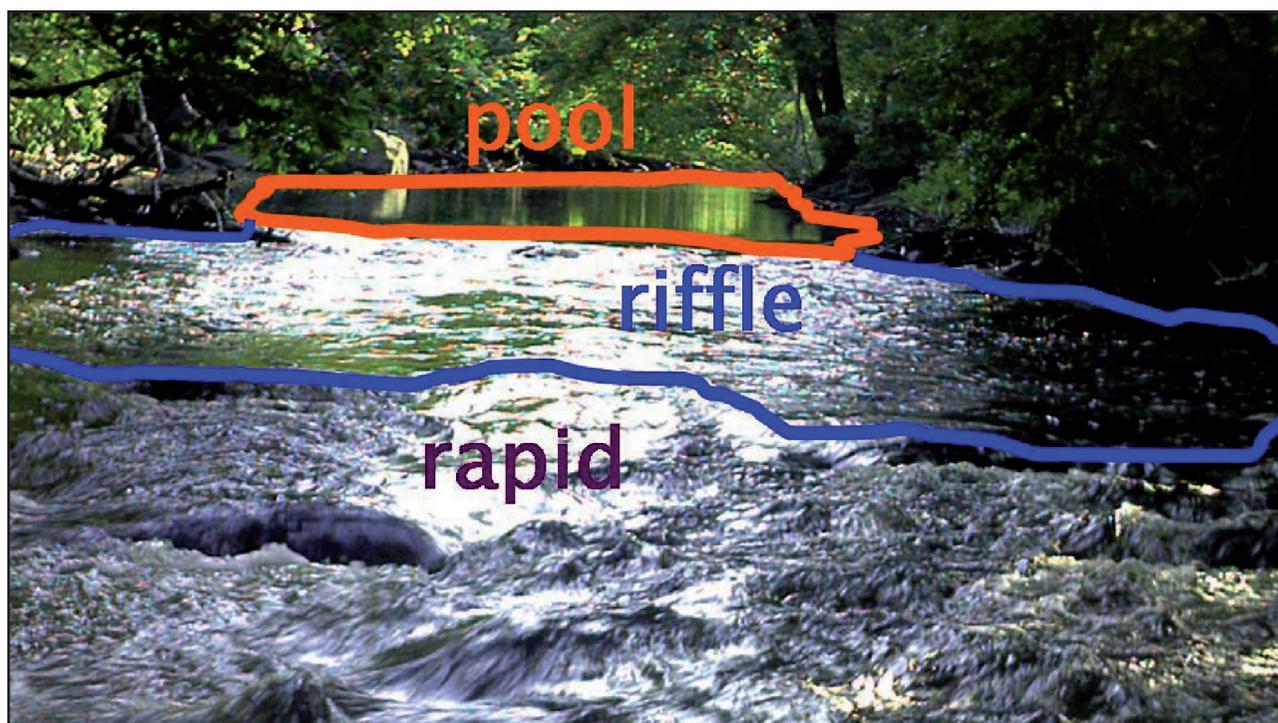


Figura 1. Ejemplos de unidades hidromorfológicas (UHMs).

UHM	Descripción
Riffle	Zonas someras con velocidad del agua moderada, algo de turbulencia en la superficie y pendiente elevada. Lecho con forma convexa.
Rapid (Rápido)	Zonas de fuerte pendiente, con velocidades más altas, sustrato más grueso y mayor turbulencia en superficie. Lecho con forma convexa.
Cascade (Cascada, salto)	Rápidos escalonados con pequeños saltos de agua y con pozas muy pequeñas detrás de bloques.
Glide (Tabla)	Cauces moderadamente someros, con flujo laminar, sin turbulencias pronunciadas. Lecho plano.
Ruffle	Rápidos con menos caudal, en transición a "Run" o a "Riffle".
Run (Corriente)	Cauce monótono con un Thalweg (línea de profundidad máxima) bien definido. El lecho es plano longitudinalmente y cóncavo lateralmente.
Fast run (Corriente rápida)	Cauce uniforme y con alta velocidad del agua.
Pool (Pozas)	Zonas profundas con poca velocidad del agua, causadas por algún tipo de obstrucción en el cauce. Lecho con forma cóncava.
Plunge Pool (Pozas tras cascada)	La corriente principal pasa por encima de una obstrucción total del cauce y cae verticalmente, excavando el lecho del río.
Backwater (Remanso)	Áreas someras y de aguas quietas en los márgenes del cauce, causadas por remolinos formados detrás de obstrucciones.
Side arm (Brazo lateral)	Zonas que rodean islotes, de anchura menor que la mitad de la anchura total del cauce, con frecuencia a diferente altura que el cauce principal.

Tabla 1. Definición de las unidades hidromorfológicas (UHM) empleadas en MesoHABSIM (modificadas de Dolloff *et al.* 1997, Bisson y Montgomery 1996). Los nombres se mantienen en inglés por la imposibilidad de traducir con precisión todas las UHM. Algunas de ellas se muestran con la que consideramos es la mejor traducción.

cho cóncavo, elevada profundidad y velocidad del agua muy baja o nula; o bien un rápido, con escasa profundidad, alta velocidad y superficie turbulenta.

Por lo tanto, la UHM refleja únicamente la interacción entre las características hidráulicas y la topografía del lecho, es decir: una UHM es una poza, un rápido, un remanso o cualquier otro tipo de la Tabla 1. En cambio, un meso hábitat es una zona específica, donde la configuración de los patrones hidrográficos (el tipo de UHM) junto a otros atributos que proporcionan refugio, dan lugar a condiciones para la supervivencia y el desarrollo de determinadas especies y edades. Es decir, el meso hábitat es el tipo de UHM más las características del hábitat físico que tiene esa UHM. MesoHABSIM emplea la distribución espacial de las UHM junto a sus atributos de hábitat físico, para cuantificar el hábitat utilizado por los peces.

3. Estructura del modelo MesoHABSIM

La metodología MesoHABSIM sigue la estructura típica de los modelos de hábitat definidos por Passiewicz y Dunbar (2001) y es el cómputo de tres modelos:

1. Un modelo hidromorfológico que define el mosaico espacial de las características físicas relevantes para los peces.
2. Un modelo biológico que describe el hábitat usado por los individuos.
3. Un modelo de hábitat, mediante la integración de los dos modelos anteriores, que cuantifica la cantidad de hábitat utilizable y lo relaciona con el caudal.

3.1. El modelo hidromorfológico

El modelo hidromorfológico define la distribución espacial de las características del hábitat físico que son relevantes para los peces.

La construcción de este modelo se asienta sobre la realización de un muestreo de reconocimiento y de varios muestreos de meso hábitats.

El muestreo de reconocimiento sirve para estratificar el área de estudio, identificando cambios significativos en la distribución espacial de las unidades de hábitat. Mediante análisis cluster (Kaufmann y Rouseeuw 1990) se divide el río en varios segmentos con características similares de hábitat. Dentro de cada segmento se seleccionan uno o más tramos representativos donde se realizarán los muestreos de meso hábitats y cuyos resultados podrán extrapolarse al segmento en que se ubican. Para ello se eligen los tramos más cortos posibles que sean representativos del segmento, reflejando la distribución cuantitativa de las UHM. El muestreo de reconocimiento se puede emplear también para estudiar la posibilidad de transferir estos modelos a otras aéreas de estudio, como por ejemplo a ríos similares.

Una vez definidos los segmentos y elegidos los tramos representativos, se llevan a cabo los muestreos de meso hábitats. El objetivo es cartografiar la distribución de meso hábitats en los tramos representativos con diferentes caudales circulantes. En el muestreo de meso hábitats se registra la localización y el tamaño de cada UHM mediante una PDA que cuenta con un soporte SIG y fotografías aéreas de resolución adecuada. El contorno de cada UHM se traza como un polígono georeferenciado en el SIG y además se evalúan los parámetros físicos relevantes de cada UHM de manera categórica (Tabla 2). Dentro de cada UHM se registra, en siete puntos aleatorios, la velocidad del agua, la profundidad y el sustrato dominante. Todos los datos de cada UHM se almacenan en una tabla de SIG asociada al polígono correspondiente y de este modo se crea un mapa detallado de los tramos seleccionados. Una característica fundamental de MesoHABSIM es el empleo de

variables no hidráulicas para describir el hábitat, además de los parámetros clásicos de profundidad, velocidad y sustrato. El motivo está en que muchas especies de peces están asociadas a características del hábitat como los diferentes tipos de refugios: encueves, restos leñosos, etc. (García de Jalón *et al.* 1993, García de Jalón y Schmidt 1995). Si se pretende obtener un modelo realista, es imprescindible considerar cómo influyen estos elementos en los patrones de uso del hábitat.

El muestreo de meso hábitats debe realizarse en los tramos representativos seleccionados, entre dos y cuatro veces, con distinto caudal circulante en cada ocasión. De este modo se caracteriza el hábitat fluvial con ese número de caudales diferentes. El rango de caudales en que se realizan los muestreos depende de los objetivos concretos del estudio y se define con la ayuda de indicadores de alteración hidrológica (Richter *et al.* 1997).

Los datos recogidos en los muestreos se depuran y en conjunto forman la Geodatabase (base de datos asociada a SIG). Cada polígono que representa una UHM en el SIG incluye los valores de 46 parámetros que describen el meso hábitat, enu-

merados en la Tabla 2: los atributos con muchas categorías (por ejemplo las UHM) se dividen en múltiples variables en formato binario (Sí/No); las siete medidas de velocidad del agua, profundidad y sustrato se transforman en categorías de abundancia relativa (Tabla 2); además, para cada medida de profundidad y velocidad se calcula el número de Froude, que es un buen indicador de la turbulencia de la superficie y está demostrada su fuerte correlación con la distribución de las especies y las UHMs (Jowett 1993, Valdás y Orth 1998). Se pueden obtener mapas digitales que muestran la distribución espacial de las UHMs dentro de cada tramo representativo (Figura 2).

3.2. El modelo biológico

El modelo biológico define el tipo de hábitat que es utilizado por las especies de fauna acuática. Se emplean dos modelos de regresión logística para cada especie o estadio de desarrollo de interés: un modelo de presencia y otro de abundancia. El primero proporciona la probabilidad de que la especie esté presente en un meso hábitat en función de las variables ambientales (las mismas que se registran en los mues-

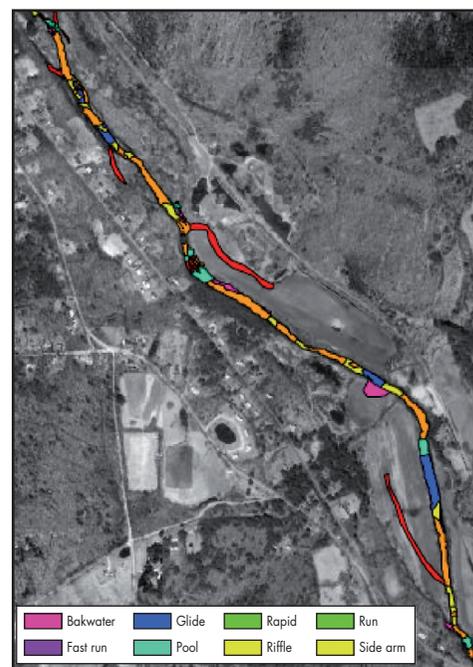


Figura 2. Distribución espacial de las UHM en un tramo, con un caudal determinado.

treos de meso hábitats, Tabla 2). El segundo da la probabilidad de que la especie sea abundante en función de esos mismos parámetros. Estos modelos proporcionan la probabilidad de presencia o de abundancia en función de un término de la forma $a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$, donde a es una constante, $x_1, x_2 \dots x_n$ son las variables físicas significativas y $b_1, b_2 \dots b_n$ son los coeficientes de regresión, que pueden ser positivos indicando una preferencia de la especie por ese atributo, o negativos indicando un rechazo.

Es importante destacar que en el modelo MesoHABSIM se consideran todas las variables físicas que pueden tener algún tipo de influencia sobre la utilización del hábitat por parte de la fauna, pero sólo algunas de esas variables formarán parte de los modelos biológicos de una especie o estadio de desarrollo concreto. Estas variables serán aquéllas que hayan mostrado empíricamente tener una influencia significativa sobre la presencia o abundancia de la especie. Por lo tanto, en esta metodología no se eligen arbitrariamente ciertos parámetros ni se les asigna un peso relativo a priori, sino que

Tabla 2	
Atributo	Categorías
Unidades hidromorfológicas (UHM)	Presencia/Ausencia para cada UHM (ver Tabla 1).
Tipos de refugio	Ausente/Presente/Abundante, para los tipos: Encueves (cornisas, bancos y cuevas), restos leñosos, vegetación colgante, vegetación sumergida, grandes bloques, escollera, sombreado de copas, márgenes someros.
Granulometría del sustrato	% de las muestras aleatorias, para los tipos: Finos (limos y arcillas), arenas, gravillas, gravas, cantos rodados, bloques, grandes bloques, roca madre, sustrato vegetal, restos leñosos, sapropel, detritos.
Profundidad	% de las muestras aleatorias, para 6 clases, con incrementos de 25 cm, en el rango 0 - 125 cm y superior.
Velocidad media del agua	% de las muestras aleatorias, para 8 clases, con incrementos de 15 cm/s, en el rango 0 - 105 cm/s y superior.
Numero de Froude (Fr)	Media de los valores de la UHM: $Fr = V_m / (9,81 \cdot D)^{0,5}$ (V_m = velocidad media del agua; D = profundidad)

Tabla 2. Variables físicas del hábitat utilizadas en el modelo MesoHABSIM.

son los datos empíricos los que van a determinar la importancia de cada variable.

El muestreo de peces para la generación de los modelos biológicos es el proceso que mayor esfuerzo requiere. En Nueva Inglaterra (EEUU), donde se ha desarrollado principalmente este modelo, se dispone una extensa base de datos que describe el uso del hábitat de las especies más comunes de la zona, incluyendo la trucha común (*Salmo trutta* L.) que allí es exótica. En la actualidad se está estudiando la transferibilidad de estos modelos biológicos entre distintos ríos.

Los datos necesarios para crear los modelos biológicos se pueden obtener con varios métodos. En zonas vadeables la técnica más adecuada es la pesca eléctrica con electrogrids (Bain *et al.* 1985). Los electrogrids son rectángulos electricificados de superficie conocida, que al accionarse transmiten corriente alterna al agua, permitiendo la captura de los peces que están en ese meso hábitat. En zonas más profundas se puede emplear la observación subacuática buceando (Bovee 1986) o el muestreo desde embarcación. Para generar los modelos de una especie determinada debe muestrearse un número suficiente de meso hábitats, en los que se identifican y miden los peces capturados y se registran todas las variables del hábitat de la Tabla 2. Parasiewicz (2007) explica con detalle el proceso de generación de los modelos de regresión logística a partir de los datos empíricos. Cuando la recogida de datos no es factible, se pueden generar los modelos biológicos a partir de la literatura existente, de la opinión de expertos o mediante la adaptación de curvas de preferencia (explicaciones también en Parasiewicz 2007).

3.3. El modelo del hábitat

Mediante la integración de los dos modelos anteriores –hidromorfológico y biológico– se genera el modelo del hábitat. Este modelo

específica, para cada meso hábitat cartografiado durante el muestreo de los tramos representativos, si es: no adecuado, adecuado u óptimo. De esta manera, empleando los datos recogidos en los muestreos de meso hábitats (modelo hidromorfológico) y aplicando la probabilidad de presencia y de abundancia de la especie en función de las variables del hábitat (modelo biológico), se obtiene la idoneidad de cada meso hábitat cartografiado para la especie en cuestión.

La proporción de la superficie del cauce con hábitat adecuado para las distintas especies o estadios de desarrollo se sintetiza para cada tramo y se representa frente a los caudales muestreados. De este modo se obtienen dos gráficas, una para hábitat

El muestreo de peces para modelos biológicos es el proceso que mayor esfuerzo requiere

adecuado y otra para hábitat óptimo. Ambas se pueden integrar de manera ponderada, conformándose así el hábitat disponible (Figura 3). Para construir las curvas hábitat-caudal para las especies de interés se interpolan los valores de hábitat para el rango de caudales muestreado, mediante una función de ajuste lineal. Los resultados obtenidos se emplean para analizar la idoneidad de las distintas zonas del río para cada especie.

Parasiewicz (2007) explica la manera de cuantificar el hábitat del que dispone la comunidad piscícola en su conjunto (en lugar de una especie concreta), teniendo en cuenta que un mismo tipo de hábitat con frecuencia es adecuado para más de una especie.



Figura 3. Disponibilidad de hábitat para una especie y caudal determinados: hábitat pobre (zonas rojas), utilizable (amarillo) y excelente (verde).

4. Aplicaciones prácticas de MesoHABSIM

Una vez obtenidos los datos necesarios para la caracterización del hábitat físico e incorporados los modelos biológicos de la comunidad o de las especies de interés, MesoHABSIM proporciona un modelo del hábitat. Este modelo es una potente herramienta, ya que puede emplearse a modo de laboratorio donde simular cómo influyen sobre la fauna diversas modificaciones del hábitat físico (Figura 4), y permite crear mapas SIG de idoneidad del hábitat que muestran información científica de manera intuitiva.

MesoHABSIM permite simular alteraciones del hábitat, tales como canalizaciones, construcción de motas, etc., por lo que tiene aplicaciones en Evaluación de Impacto Ambiental, al predecir las consecuencias de diversos impactos sobre el hábitat fluvial. También es posible simular medidas de restauración, como la revegetación de márgenes o el ensanchamiento de la zona libre de ocupaciones para aumentar la sinuosidad del río. De esta manera puede estudiarse la efectividad de las medidas de restauración antes de ser implementadas, de manera

que se asegure que la inversión a realizar va a ser eficaz. Por otra parte, al simular cómo varía el hábitat disponible en función del caudal, puede aplicarse en la determinación de Regímenes Ecológicos de Caudales. Al contrario que los modelos basados en micro hábitats, MesoHABSIM puede simular fácilmente actuaciones a gran escala, permitiendo así predecir los efectos de diferentes tipos de medidas, como por ejemplo el desmantelamiento de presas o la restauración del cauce.

Un modelo basado en meso hábitats es atractivo ya que permite la toma de decisiones prácticas de gestión (Acreman 2005), a la vez que mantiene el rigor aceptable para la comunidad científica. Por este motivo, el modelo MesoHABSIM ha experimentado en los últimos años un aumento de su popularidad y utilización para la restauración de ríos y la planificación de la gestión de cuencas en Estados Unidos. Ha sido empleado con éxito en numerosos proyectos en ese país principalmente en Nueva Inglaterra, aunque también en Wyoming y Texas. Es destacable su aplicación para la determinación de estándares de protección del régimen de caudales en New Hampshire, donde además

Los modelos basados en el microhábitat son adecuados para un estudio detallado de tramos fluviales

MesoHABSIM ha sido adoptado como parte del marco legal que regula la gestión del agua en ese estado.

El modelo MesoHABSIM está empezando a aplicarse en Europa, siendo los países pioneros Austria, Italia y España. En nuestro país, Ecohidráulica está llevando a cabo actualmente el primer estudio mediante esta metodología, en el río Tajuña (Guadalajara). El objetivo concreto de este trabajo es establecer las medidas de restauración del hábitat físico que permitan aumentar la capacidad de carga del ecosistema para la trucha común, que hace años era más abundante en esta cuenca.

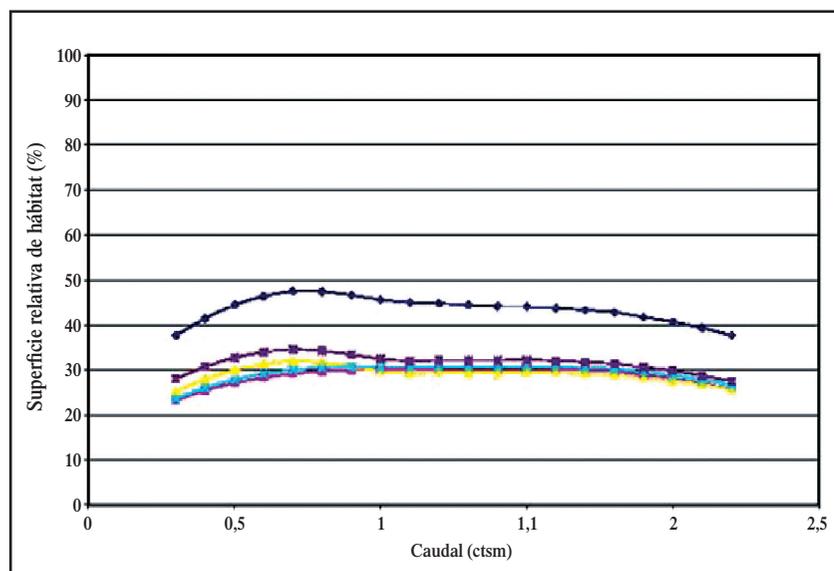


Figura 4. Ejemplo de curvas hábitat-caudal para diferentes medidas de restauración en una cuenca fluvial. Se muestran las condiciones actuales (línea amarilla) y los resultados de las simulaciones de cuatro medidas de restauración planteadas.

5. Conclusiones

El desarrollo del modelo MesoHABSIM parte de la idea de integrar los modelos del hábitat físico de una manera más eficaz en la gestión de ríos, mediante un cambio de escala que permita tratar aspectos en diferentes niveles de gestión. MesoHABSIM está diseñado para trabajar en una escala más amplia que los modelos del micro hábitat. Por este motivo no invierte tanto esfuerzo en mediciones muy precisas de los parámetros, sino que se centra en cubrir tramos de mayor extensión, empleando variables categóricas, con el objeto de caracterizar adecuadamente el conjunto de la cuenca. De este modo, MesoHABSIM sirve de puente entre el enfoque cualitativo normalmente utilizado en Evaluación de Impacto Ambiental y los modelos cuantitativos empleados por los científicos 'incrementalistas' (Parasiewicz *et al.* 2008).

Gracias a su diseño, MesoHABSIM permite la recogida rápida y eficaz de datos en grandes áreas, proporcionando un rendimiento en los muestreos de campo en torno a 2 km/día en zonas vadeables, mientras que con las técnicas de micro hábitat el rendimiento no pasa de 200 m/día. Este mayor rendimiento en campo se traduce en un menor coste relativo y por tanto en la posibilidad de muestrear zonas mayores. Esto permite, en segundo lugar, una reducción del error que se comete en la extrapolación, en comparación con los modelos de micro hábitat. La escala aplicada en MesoHABSIM es más coherente con la escala de la respuesta biológica reflejada en los hábitats funcionales.

Si se pretende emplear un modelo para la gestión de una cuenca, es imprescindible extrapolar correctamente los resultados de los muestreos al conjunto de la cuenca (ver el concepto 'upscaling', Parasiewicz 2003). Para lograr esto, los tramos muestreados deben ser representativos del segmento fluvial en el que se engloban y los segmentos

definidos deben cubrir toda la cuenca. La caracterización de un tramo de uno o dos kilómetros de longitud garantiza –si la estratificación es adecuada– que todos los tipos de hábitat existentes en el segmento estén correctamente representados. Por el contrario, un tramo de 100 o 200 metros –como los que se modelizan habitualmente con técnicas de microhábitat– difícilmente incluirá toda la heterogeneidad de hábitats presente, ya que apenas albergará tres o cuatro unidades hidromorfológicas, por lo que la extrapolación de sus resultados a zonas mayores resulta muy problemática. En cambio, MesoHABSIM permite extrapolar correctamente los resultados obtenidos en los tramos a sus correspondientes segmentos fluviales, y así obtener un modelo de la cuenca en su conjunto.

Por otra parte, los modelos de microhábitat con frecuencia emplean como variables únicamente la profundidad, la velocidad del agua y el tamaño del sustrato y asumen que las tres tienen la misma importancia relativa. MesoHABSIM en cambio, considera todos los atributos que pueden tener alguna influencia sobre la fauna –incluidos los de carácter no hidráulico– sin asignarles una importancia relativa a priori, lo que lo hace más robusto científicamente.

En conclusión, los modelos basados en el microhábitat son adecuados cuando se requiere un estudio detallado de determinados tramos fluviales. En cambio, MesoHABSIM es más apropiado para la planificación y la toma de decisiones en la escala de río o cuenca vertiente, ya que ha sido diseñado para trabajar en este nivel. El modelo MesoHABSIM ofrece nuevas oportunidades de aplicación en la gestión de ríos. Supera el problema del gran esfuerzo y coste de los modelos de micro hábitat, que además no son a menudo aplicables en la escala de grandes cuencas. Permite modelizar y simular diversas modificaciones del hábitat físico, como alteracio-

nes o medidas de restauración, de una manera científicamente sólida y con un coste asumible, gracias a que está diseñado para trabajar en la escala apropiada. MesoHABSIM es por tanto un modelo eficaz para la gestión de ríos y cuencas.

6. Bibliografía

Acreman MC. 2005. Linking science and decision-making: features and experience from environmental river flow setting. *Environmental Modelling and Software* 20: 99-109.

Bain MB, Finn JT, Booke HE. 1985. A quantitative method for sampling riverine microhabitats by electrofishing. *North American Journal of Fisheries Management* 5: 489-493.

Bisson PA, Montgomery DR. 1996. Valley segments, stream reaches, and channel units. En: *Methods in Stream Ecology*, Hauer RF, Lambert GA (eds). Academic Press: San Diego: 23-42.

Bovee K. 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. *Instream Flow Information Paper* N° 21. US Fish and Wildlife Service Report 86(7), 235 p.

Dolloff CA, Jennings HE, Owen M. 1997. A comparison of basinwide and representative reach habitat survey techniques in three southern Appalachian watersheds. *North American Journal of Fishery Management* 17: 339-347.

García de Jalón D, Mayo M, Hervella F, Barceló E, Fernández T. 1993. *Principios y Técnicas de Gestión Piscícola en Aguas Continentales*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid: 247 p.

García de Jalón D, Schmidt G. 1995. *Manual práctico para la gestión sostenible de la pesca fluvial*. AEMS. ICONA: 169 p.

Jowett IG. 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 27: 241-248.

Kaufman L, Rousseeuw PJ. 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd: New York.

Kemp JL, Harper DM, Crosa GA. 1999. Use of 'functional habitats' to link ecology with morphology and hydrology in river rehabilitation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem* 9 (1): 159-178.

Parasiewicz P. 1996. Estimation of physical habitat characteristics using automation and geodesic-based sampling. *Regulated Rivers: Research & Management* 12: 575-583.

Parasiewicz P. 2001. MesoHABSIM: a concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries* 26: 6-13.

Parasiewicz P. 2003. Upscaling: Integrating Habitat Model into River Management. *Canadian Water Resources Journal* Vol. 28, N° 2: 17 p.

Parasiewicz P. 2007a. The MesoHABSIM Model Revisited. *River Research and Application* 23 (8): 893-903.

Parasiewicz P. 2007b. Using MesoHABSIM to develop reference habitat template and ecological management scenarios. *River Research and Applications* DOI: 10.1002/rra.1044.

Parasiewicz P, Dunbar MJ. 2001. Physical habitat modelling for fish: a developing approach. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 135 (2-4): 1-30.

Parasiewicz P, Nestler J, LeRoy Poff N, Goodwin RA. 2008. Virtual reference river: a model for scientific discovery and reconciliation. En: *Ecological Management: New Research*, Alonso MS, Rubio IM (eds). Nova Science Publishers, Inc.

Richter BD, Baumgartner JV, Wigington R, Braun DP. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37 (1): 231-249.

Valdas RL Jr., Orth DJ. 1998. Use of physical variables to discriminate visually determined mesohabitat types in North American Streams. *Rivers* 6 (3): 143-159.