

Modelización eco hidrodinámica y análisis de la influencia del filtrador béntico Dreissena Polymorpha (Mejillón Cebra) en ecosistema fluviales. Aplicación al control de la especie en el embalse de Mequinenza.

P. Seral¹, R. Aliod¹, S. García¹, E. Faci¹, J. Paño¹

¹Univesidad de Zaragoza, Área de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior Huesca, España.

patriciaseral@unizar.es

PROYECTO I+D+i MARM 100/RN08/03,4 “CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA Y SUS AFECCIONES EN LA CUENCA DEL EBRO”

Palabras clave

Dreissena polymorpha, río Ebro, modelo ecohidrodinámico, ECOLab, modelo bioenergético estructurado según tamaños, MIKE 21, estado ecológico.

1 Introducción, objetivos

El primer grupo de organismos de Dreissena Polymorpha (DP), conocido vulgarmente como mejillón Cebra, en la Cuenca del Ebro se detectó en Julio de 2001 en el embalse de Flix. La gran explosión demográfica que experimenta DP una vez introducida, alcanza elevadas densidades de población, especialmente en zonas lénticas, que hace prácticamente imparable la progresiva colonización de los distintos sustratos naturales y artificiales que se hallan en contacto con el medio fluvial. En el embalse de Mequinenza, que ocupa una extensión de 7.500 ha con una profundidad máxima de 62 m, se encontraron asentamientos de la especie en el año 2002. (CHE, 2006).

El estudio de la dinámica de especies fluviales significativas, mediante modelos computacionales que aúnen los procesos biológicos y físico-químicos del medio, integrados en la hidrodinámica de cauce, es una herramienta imprescindible para la gestión de los sistemas fluviales y la consecución del buen estado ecológico que propugna la Directiva Marco del Agua, suministrando herramientas para establecer racionalmente estados de referencia de las masas de agua, caudales ambientales que contemplen la dilución de contaminantes y programas de medidas efectivas.

En el contexto del Proyecto de I+D del MARM 100/RN08/03,4 “CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA Y SUS AFECCIONES EN LA CUENCA DEL EBRO”, se ha desarrollado un modelo ecohidrodinámico bidimensional de poblaciones de DP, sintetizando y adaptando modelos biológicos y físicos previos, mediante el software MIKE21-ECOLab de DHI, cuyos resultados describen las concentraciones de fitoplacton, clorofila, zooplacton, detritus, nutrientes orgánicos e inorgánicos, oxígeno, vegetación béntica, así como el crecimiento de especímenes adultos y número de cada clase de tamaños del DP a lo largo del tiempo, procesos afectados por las variaciones en las variables hidrodinámicas, profundidad y velocidad, y físicas, temperatura y sustrato.

El modelo se ha aplicado a un sistema de máxima complejidad, como es el embalse de Mequinenza, de 110 km de longitud y afectado de extrema irregularidad topográfica (Figura 1), para demostrar la viabilidad de aplicación de estas herramientas en contextos reales. La explotación del modelo, una vez calibrado, facilitará el diseño de una gestión ambiental de ecosistemas fluviales que permita el control de la especie reduciendo el impacto negativo de la misma sobre el río.

2 Material y métodos

La generación y aplicación del modelo eco-hidrodinámico bidimensional utilizado para la simulación en el embalse de Mequinenza de los procesos hidrodinámicos, de eutrofización y del crecimiento de DP, ha sido posible gracias a la explotación de las herramientas del paquete MIKE 21-ECOLab desarrollado por DHI, (DHI, 2007b) que permite al usuario generar nuevos modelos ecológicos originales, de forma flexible y general,

integrados con la hidrodinámica del cauce. El modelo hidrodinámico resuelve las ecuaciones para aguas someras usando el método de volúmenes finitos con la aplicación del esquema de Roe para los términos conectivos (DHI, 2007a). El modelo incluye ecuaciones para el cálculo de la temperatura del agua, que se asocian a la densidad a través de la ecuación de estado UNESCO (DHI, 2007a).

Se ha empleado una malla computacional desestructurada de tipo flexible (Figura 1), que consta de 20.393 elementos. Para la implementación de la cartografía asociada a cada punto de la malla, se ha empleado la batimetría de fondo del embalse suministrada por Confederación Hidrográfica del Ebro, obtenida por técnicas hidroacústicas. (Ecohydros, 2008). Esta batimetría ha sido enlazada, para las orillas inundables, con el procesamiento de cartografía vectorial de escala 1:5000 en la zona de contorno (generada mediante restitución fotogramétrica), disponible a través del *Sistema de Información Territorial del Gobierno de Aragón*.

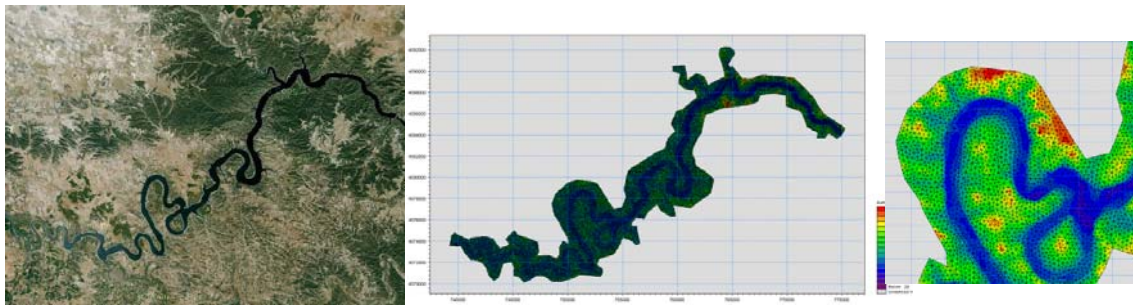


Figura1: Dominio del embalse de Mequinenza simulado eco hidrodinamicamente. Detalle Malla Flexible.

Ha sido requerido incorporar gran cantidad de datos adicionales en cuanto a condiciones de contorno y forzantes de los procesos físicos y biológicos para configurar tanto el modelo hidrodinámico como el ecológico. Las condiciones de contorno en el modelo hidrodinámico son los hidrogramas de entrada, y nivel de agua en presa (valores quinceminutales, *servicio SAIH Ebro*, CHE). Los forzantes del modelo térmico son, datos meteorológicos (*oficinaregante.aragon.es/*), tales como velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar, para el cálculo del intercambio de calor con la atmósfera; y temperatura del agua en las condiciones de contorno. Los datos forzantes para el modelo ecológico son la profundidad, vector velocidad y temperatura en el centro de cada tesela del dominio dibimensional calculadas por el módulo HD-TS, variación de la radiación solar global media y cantidad de sólidos disueltos y las concentraciones de contorno para todas las variables de estado pelágicas (calculadas a partir de los muestreos mensuales realizados durante el tiempo de simulación (Anhidra/ Facultad de Veterinaria- Universidad de Zaragoza, Peribáñez), y el tipo de sustrato (con el que se definirá el hábitat potencial de DP (Ecohydros, 2008)) asociado a variaciones en el número de *Manning*.

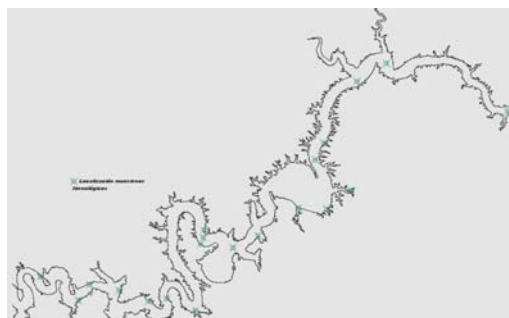


Figura2: Localización muestreos limnológicos. Anhidra/ Facultad de Veterinaria- Universidad de Zaragoza, Peribáñez.

2.1 Módulos de simulación.

2.1.1 Módulo HD-TS.

La modelización hidrodinámica se basa en la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes considerando la integración de Reynolds en la vertical para fluidos incompresibles. La discretización espacial es resuelta mediante el método de volúmenes finitos con puntos de control centrados en los elementos. Se opta por un mallado de tipo flexible dada la complejidad de los contornos del recinto. Se emplea el método explícito para la integración temporal.

Desde el módulo hidrodinámico también es calculada la temperatura del agua, parámetro crucial en la explicación de los procesos biológicos. Su cómputo se lleva a cabo partir de datos meteorológicos, tales como temperatura del aire, humedad y radiación solar. Se facilitan datos cada 30 minutos registrados en la estación meteorológica de Caspe (1500 m al noroeste del dominio).

El módulo TS (Temperatura/Salinidad) se invoca considerando la densidad del agua dependiente de temperatura. El módulo TS emplea las ecuaciones adicionales del transporte para la temperatura y la salinidad (en su caso). Además, la temperatura calculada, es tomada en cuenta en la resolución de las ecuaciones hidrodinámicas, debido al empuje inducido por los gradientes de densidad (DHI, 2007a).

Se analiza a su vez el intercambio de calor del agua con la atmósfera. El intercambio de calor se calcula sobre la base de los cuatro procesos físicos: la radiación de la onda larga, el flujo del calor sensible (convección), la radiación de la onda corta y el flujo latente del calor (evaporación). Para el cálculo del intercambio de calor es necesario especificar el temperatura del aire, la humedad relativa y el coeficiente de la claridad.

2.1.2 Módulo ECOLab.

El sistema de modelización empleado para la descripción de la evolución de las especies químicas y biológicas estudiadas en el cauce utiliza la caracterización hidrodinámica, profundidad y vector velocidad en el centro de cada tesela bidimensional, y la temperatura del agua, calculados desde el módulo hidrodinámico. A su vez, MIKE 21 ECOLab reutiliza el módulo MIKE 21 AD para simular de forma simultánea los fenómenos de dispersión y convección y los procesos biológicos/ bioquímicos. Se ha recurrido a uno de los modelos estándar de eutrofización disponibles en las plantillas de ECOLab (*Eutrophication model 1*, DHI 2007c) que resuelve un sistema de doce ecuaciones diferenciales que describen las variaciones para doce componentes, once de ellas corresponden al sistema pelágico, y se encuentran sujetas a transporte convectivo y dispersión turbulenta. La otra ecuación corresponde a la vegetación benthica, que está adherida al lecho, no está sujeta a los fenómenos de transporte. Lo mismo sucederá con las nuevas variables de estado referentes al crecimiento de la población de DP en estado adulto, que se encuentra anclada en los sustratos favorables.

El modelo de eutrofización describe el ciclo de nutrientes, crecimiento de fitoplancton y zooplacton, crecimiento y distribución de la vegetación con sistema radicular, macro algas y las condiciones de oxígeno.

Las 12 variables de estado del modelo de eutrofización, que son afectadas por la población de DP a través del término de nutrientes (fitoplancton) ingeridos por la especie, son: *Phytoplacton carbon* (PC; gC / m³), *Phytoplacton nitrogen* (PN; gN / m³), *Phytoplacton phosphorus* (PP; gP / m³), *Chlorophyll-a* (CH; g / m³), *Zooplacton* (ZC; gC / m³), *Detritus carbon* (DC; gC / m³), *Detritus nitrogen* (DN; gN / m³), *Detritus phosphorus* (DP; gP / m³), *Inorganic nitrogen* (IN; gC / m³), *Inorganic phosphorus* (IP; gP / m³), *Dissolved oxygen* (DO; g / m³), *Benthic vegetation carbon* (BC; gC / m³).

2.2 Modelo de DP estructurado según tamaños

El crecimiento de la población de DP en estado adulto, es decir, una vez superada el estadio larvario cuando la larva pedivelígera se fija con el biso al sustrato, se simula mediante un modelo estructurado según tamaños ("Size structured model"), (Mohlenberg & Rasmussen, DHI). La población de DP se distribuye en 8 clases (0 - 1 mm, 1 - 5 mm, 5 - 10 mm, 10 -15 mm, 15 - 20 mm, 20 - 25 mm, 25 - 30 mm, 30 - 45 mm), intervalos utilizados en la toma de datos por el departamento de veterinaria de la Universidad de Zaragoza (Peribañez et al.) Los cambios en la biomasa para cada clase a lo largo del tiempo, $MusselB_classX$ (mg C soft bodyweight)/(m²), se expresan según la ecuación:

$$\frac{dMusselB_classX}{dt} = (BgrowthX * HSAddepth * HSAvelocity + Bn_{x-1}n_x - Bn_xn_{x+1} - BmortX - BmortdepthX - BmortvelX) * MusselB_classX$$

Donde el crecimiento de la población $BgrowthX$ es calculado como producto del crecimiento individual de cada mejillón por clase, $growth_DPclassX$, y el número de individuos en esa clase $mussN_classX$.

$$BgrowthX = growth_DPclassX * mussN_classX$$

$HSAddepth$ el coeficiente de adecuación del hábitat según la profundidad del agua en la celda, $HSAvelocity$ coeficiente de adecuación del hábitat según la velocidad del agua (ver apartado 2.2.2); $Bn_{x-1}n_x$, Bn_xn_{x+1} transferencia de biomasa entre clases; $BmortX$ mortalidad estocástica; $BmortdepthX$ mortalidad profundidad del agua desfavorable; $BmortvelX$ mortalidad velocidad desfavorable.

Tabla 1 Parámetros descriptivos del crecimiento de *D. Polymorpha*.

Símbolo	Descripción	Dimensión	Valor	Referencias
k	Factor de ingestión	mg C ⁻¹ d ⁻¹	0.1105	Walz (1978)
F _{optimal}	Concentración de alimento para el ratio de ingestión máxima	mgC _{fitoplacton} /l	2.0	Walz (1978)
F _{limit}	Límite inferior concentración de alimento	mgC _{fitoplacton} /l	0.01	En calibración
T _{optup}	Temperatura óptima de ingestión	°C	20	Kuntzmann (1989)
q _{ex}	Fracción excretada de alimento asimilado	-	0.064	Schneider (1992)
q _{resp}	Fracción respirada de alimento asimilado	-	0.15	Ebenhöh et al (1995)
α	Valor mínimo de la fracción egestada	-	0.351	Schneider (1992)
β	Coeficiente de dependencia de la alimentación	-	0.88	Schneider (1992)
γ	Factor respiración basal	mg C ⁻¹ d ⁻¹	0.0015	Schneider (1992)
T _{lim}	Temperatura límite respiración basal	°C	31	Schneider (1992)
T _{opt}	Temperatura óptima respiración basal	°C	28	Schneider (1992)
Q ₁₀	Coeficiente Van't Hoffscher de la temperatura	-	3.1	Schneider (1992)
A	A en regresión alométrica DP	-	0.071	(Walz 1979)
B	Exponente B en regresión alométrica DP	-	2.8	(Walz 1979)
mort _{estoc}	Ratio mortalidad estocástica	d ⁻¹	0.0025	Kuntzmann (1989)
Mort _{SHAdp}	Ratio mortalidad inadecuación hábitat por profundidad	d ⁻¹	0.045	
Mort _{SHAvel}	Ratio mortalidad inadecuación hábitat por velocidad	d ⁻¹	0.045	

El crecimiento de cada individuo(growth_DPclassX; crecimiento neto de un mejillón *Dreissena polymorpha* en clase X (mgC/animal/d)) se modela según el modelo bioenergético (Schöl 1.999, Schneider 1992, Walz 1978), siendo función de la disponibilidad de nutrientes y de la temperatura, así como de la biomasa del individuo. La formulación empleada se detalla a continuación:

$$\frac{dDP}{dt} = \text{growth_DPclassX} = (\text{growthrateDPclassX} - \text{resprateDPclassX}) * \text{mussW_X}$$

growthrateDPclassX : ratio de crecimiento de *D. polymorpha* (d⁻¹)

$$\text{growthrateDPclassX} = k \cdot \text{mussW_X}^{-0.213} \cdot f(F) \cdot f(T) \cdot Y_{dr}$$

k: factor de consumo de 1 mg C de un individuo *D. polymorpha* a temperatura óptima

mussW_X : peso parte blanda / animal clase X (mg C/animal)

f(F) : dependencia del crecimiento ante la disponibilidad de alimento

$$\text{if } PC > F_{optimal} \text{ then } f(F)$$

$$\text{if } PC < F_{limit} \text{ then } f(F) = 0$$

$$\text{if } F_{optimal} > PC > F_{limit} \text{ then } f(F) = \frac{PC - F_{limit}}{F_{optimal}}$$

Siendo PC la cantidad de fitoplacton C en mg/l , F_{optimal} la concentración de fitoplacton C para el máximo ratio de ingestión y F_{limit} la mínima concentración de fitoplacton necesaria para que se produzca ingestión de alimento.

f(T) : dependencia del crecimiento ante la variación de la temperatura

$$f(T) = e^{-0.00605 \cdot (T_{optup} - temp)^2}$$

Siendo T_{optup} la temperatura óptima para la ingestión y temp la temperatura del agua (calculada desde el módulo HD-TS).

Y_{dr} : factor de rendimiento de *D. polymorpha*

$$Y_{dr} = (1 - FAEC) - (1 - FAEC) \cdot q_{ex} - (1 - FAEC) \cdot q_{resp}$$

FAEC es la egestión como pseudoheces (ver fórmula a continuación), q_{ex} es la fracción excretada del alimento asimilado, q_{resp} la fracción de respiración del alimento asimilado.

$$FAEC = \alpha \cdot e^{\beta \cdot f(F)}$$

Donde α es el mínimo valor de $FAEC$ (se toma el valor según Schneider (1992) de 0.88), β es el coeficiente para la dependencia de la egestión en función del nivel de alimentación (se toma el valor según Schneider (1992) de 0.351).

resprateDPclassX : ratio de respiración basal de *D. polymorpha* (d^{-1}). Depende a su vez, de la biomasa del mejillón $mussW_X$, y es función de la temperatura según la ecuación descrita por O'Neill et al(1992) brmultiplierT.

$$\text{resprateDPclassX} = \text{brmultiplierT} \cdot \gamma \cdot \text{mussW}_X^{-\delta}$$

γ es el factor de respiración basal y δ el coeficiente de respiración basal de dependencia del nivel de biomasa.

$$\text{brmultiplierT} = \left(\frac{T_{lim} - temp}{T_{lim} - T_{opt}} \right)^a \cdot e^{a \left(\frac{temp - T_{opt}}{T_{lim} - T_{opt}} \right)}$$

T_{lim} y T_{opt} serán la temperatura límite y óptima para la respiración basal de *D. polymorpha* y a el parámetro O'Neill función de la temperatura.

$$a = \frac{W^2 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{40}{W}} \right)^2}{400}$$

$$W = (Q_{10} - 1) \cdot (T_{lim} - T_{opt})$$

siendo Q_{10} el coeficiente de temperatura Van't Hoffschier.

2.2.1 Transferencia entre clases de DP

La transferencia entre clases en el modelo estructurado según tamaños, se basa en la relación alométrica:

$$W_{DP} = A \cdot L_{DP}^B$$

W_{DP} es el peso húmedo del mejillón (mg), y L_{DP} la longitud de la concha (mm). Los valores según Walz 1978 de la regresión, se adaptan bien a los pesos y tamaños documentados para ejemplares capturados en la cuenca del Ebro (Cía Abaurre, 2009).

Factores de conversión utilizados (Walz 1979):

$$\text{Peso seco} = 0.15 \cdot \text{Peso humedo}$$

$$\text{Contenido en carbono (mg)} = 0.45 \cdot \text{Peso seco (mg)}$$

Los mejillones cuando alcanzan una determinada biomasa, valor calculado a partir de un valor de longitud de concha estipulado para cada clase, son transferidos a la clase siguiente con un ratio igual al máximo ratio de crecimiento (incremento máximo de la biomasa por día).

Tabla 2 Ratios de transferencia entre clases de *D. Polymorpha*.

	Longitud transfer(mm)	Longitud max crecimiento(mm)	Peso (mg wet weight)	Peso (mg C)	Ratio de transferencia
clase1	0,8	0,1	0,00011	7,59E-06	0,257
clase2	4	1	0,071	0,00479	0,065
clase3	9	5	6,432	0,4342	0,025
clase4	14	10	44,798	3,0238	0,017
clase5	19	15	139,416	9,4106	0,013
clase6	24	20	311,991	21,0594	0,011
clase7	29	25	582,761	39,3363	0,010

2.2.2 Evaluación adecuación del hábitat de DP.

La adecuación del hábitat de cada celda para el crecimiento de DP, se evalúa a partir del tipo de sustrato (según los resultados aportados desde el proyecto SONAR (Ecohydros, 2008)), y por los resultados emergentes del modelo hidrodinámico referentes a profundidad de agua y velocidad.

Tipo de sustrato. Se consideran adecuados los suelos clasificados como, “rocas, bloques y cantos”, y “gravas y guijarros”. (Ecohydros, 2008)).

Profundidad del agua. En cuanto a la presencia / ausencia de DP, la variable de la profundidad no se considera por sí sola un factor limitante, sino que como consecuencia de una serie de factores tales como temperatura, contenido de oxígeno y la disponibilidad de alimento (O’Neill, 1996; Cía, 2008), a partir de ciertas profundidades no se encontrarán asentamientos de DP en el embalse. No obstante, con el fin de que esta realidad quede reflejada en la simulación, se adopta el criterio simplificado y aportado por Cía (2008) y corroborado Ecohydros (2008) de no crecimiento de DP en el embalse de Mequinenza a profundidades superiores a 21 m.

Velocidades medias. Se adopta un valor máximo adecuado para el crecimiento de DP de 1,5 m/s (O’Neill, 1996), Según reflejan las curvas de preferencia realizadas a partir de las mediciones obtenidas en el embalse de Ribarroja (Cía 2008), este valor disminuye a 0,5 m/s, pero se adopta el valor más conservador obtenido en bibliografía anterior (O’Neill, 1996).

2.2.3 Mortalidad DP

La población de DP se ve afectada por una disminución de la biomasa debido a la mortalidad B_{mortX} de tipo estocástico para cada una de las clases. Ésta depende del ratio de mortalidad (Kuntzmann, 1989), multiplicado por la biomasa presente en cada clase.

Cuando los valores de los forzantes hidrodinámicos de profundidad y velocidad del agua estén fuera de los rangos adecuados para el crecimiento de DP esa celda, se considera que la mortalidad será superior a la estocástica (0,25% al día) que rige el modelo. Para esta situación, se ha aplicado un porcentaje de mortalidad de la biomasa mayor, de 4,5% al día, lo que supone que tras 22 días bajo estas condiciones no adecuadas habrá muerto el 100% de la biomasa.

2.2.4 Condiciones iniciales de la distribución de la especie

Apoyándose en los resultados de las técnicas de sondeo remoto hidroacústico empleadas para cartografiar el hábitat de DP se realizaron una serie de prospecciones videográficas de contraste, que permitieron realizar una primera estimación de la superficie y grado de ocupación del embalse. Esta estimación es la adoptada como condición inicial de ubicación y biomasa inicial de DP para la simulación. “En el conjunto del embalse, se ha observado una colonización dispersa y de moderada cobertura general (en torno al 5% de la superficie útil), cuando la disponibilidad de sustrato (rocas y cantos) es del 12% en la franja de profundidad habitable y del 8,5% respecto al total de superficie bentónica del embalse. A pesar de este índice moderado de colonización, gobernado por el manejo hidráulico del sistema, se estima una cobertura de cerca de unas 29 ha de mejillón cebra en el embalse que podrían suponer unas 300 t de peso fresco, considerando un valor de biomasa de 1 kg /m², que podría ser un valor conservador en el sentido de que se han descrito en la zona biomasa de un orden de magnitud superior.” (Ecohydros, 2008).

Respecto a la distribución por clases según tamaño, y a falta de los trabajos de campo necesarios para estimar la distribución que caracteriza la población establecida en el embalse, se ha optado por la implementación de una distribución por clases en el momento inicial de la simulación, semejante a la que reflejan los muestreos realizados por Peribáñez et al. en 2009, en balsas de riego que se abastecen desde Mequinenza.

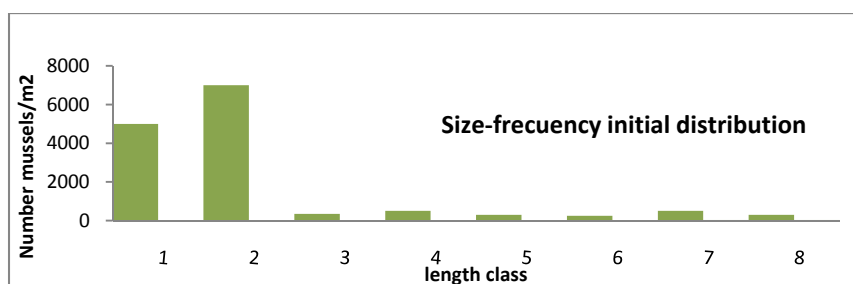


Figura3: Distribución inicial de número de individuos por m2 según tamaño

El modelo de crecimiento de la población del estadio adulto del DP consta finalmente de 16 *variables de estado* adicionales a las 12 del modelo de eutrofización, que son: *Biomass Dreissena polymorpha classes 1-8* (MusselB_classX; mg C soft body weight /m²), *Number of individuals Dreissena polymorpha classes 1-8* (MussN_classX; N/m²).

Los resultados que aporta la modelización de DP, son los referentes a biomasa y número de individuos para cada una de las clases. A su vez, se facilitan un número de variables derivadas: producción primaria, concentraciones de nitrógeno total y fósforo, profundidad del disco de Secchi.

El tiempo de ejecución característico del modelo con un procesador Intel® Core™ 2 Duo CPU 3.00 GHz y 3,50GB de memoria, para el periodo de 8 meses con resolución temporal 900 s, es de 61 horas.

3 Resultados y discusión

Después de un proceso intensivo de depuración y puesta a punto del modelo en recintos de geometría simplificada y escala espacio temporal reducida, y de un sistemático análisis de sensibilidad ante los parámetros más importantes (concentración de nutrientes y temperatura) se ha abordado una primera validación del modelo eco hidrodinámico en el contexto del embalse de Mequieza. Para ello, se han contrastado predicciones y datos de campo (Anhida/Peribañez, 2010) en tres puntos de muestreo (Figura 4) en la zona central del dominio, con el fin de minimizar posibles interferencias de las condiciones de contorno con los resultados. Se comparan las predicciones a lo largo del tiempo, para un periodo comprendido entre 23/09/2009 y 04/05/2010, con los datos disponibles en los momentos de muestreo.

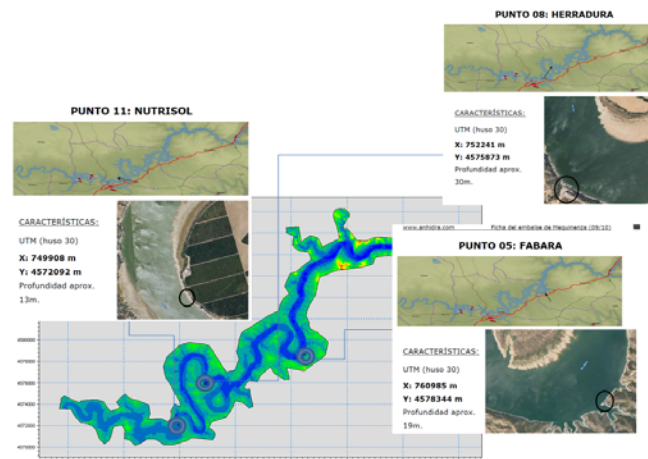


Figura 4: Ubicación puntos de medida utilizados para la validación.

En los tres puntos elegidos para la validación, la aproximación de los resultados de la simulación a los resultados medidos referentes a la temperatura del agua (Figura 5) es excelente. Para la validación del modelo ecológico, sólo se cuenta con mediciones y resultados simulados respecto a las concentraciones de clorofila (Figura 6) y oxígeno disuelto (Figura 6).

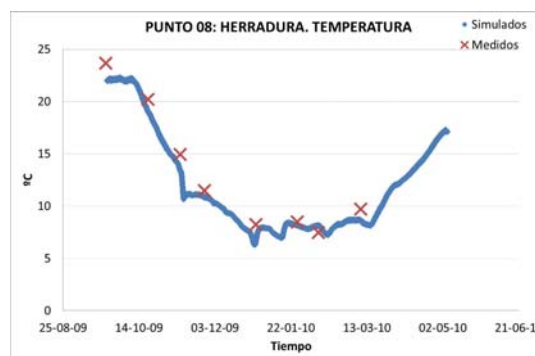


Figura5: Temperatura del agua en Punto de validación 08 (coordenadas 752241, 4575873) a lo largo periodo simulado (2009-2010)

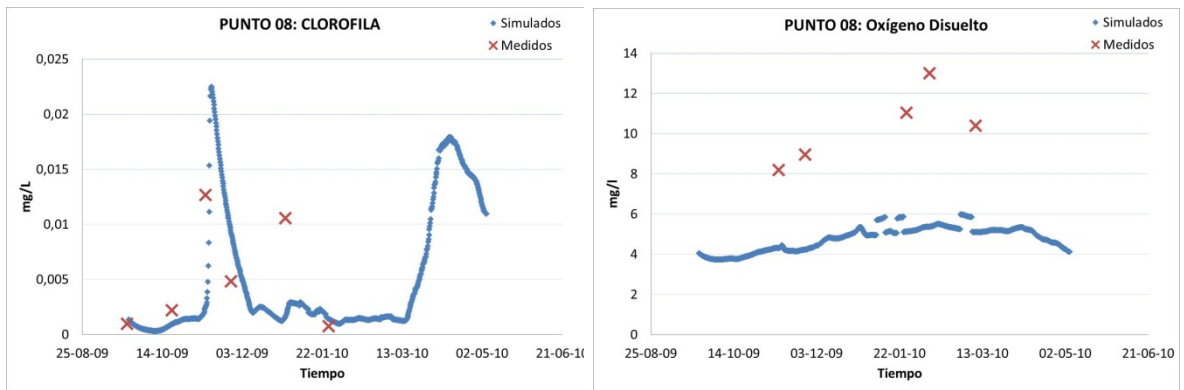


Figura6: Concentración de Clorofila y Oxígeno Disuelto (OD) en Punto de validación 08 (coordenadas 752241, 4575873) a lo largo periodo simulado (2009-2010).

La simulación de la concentración de clorofila responde de forma correcta al rango obtenido en mediciones en todos los puntos de calibración. Respecto a las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD), los valores simulados muestran la misma línea de tendencia que las medidas, pero en todos los casos se obtienen valores simulados de OD significativamente menores que los experimentales, discrepancias que en esta etapa de validación preliminar, no han encontrado una explicación satisfactoria, ya que pueden ser debidas, tanto a la necesidad de recalibración del modelo de eutrofización, como a posibles desviaciones sistemáticas al alza en los datos de la sonda de OD, que muestra valores por encima de los umbrales habituales en aguas no aireadas artificialmente.

Con respecto a los resultados de las predicciones de la evolución de la población de DP, si se considera el cómputo global de biomasa presente en el embalse, la presencia de biomasa es menor al final de la simulación que en la condición inicial (Figura 8), indicando que en periodo estudiado, de finales de Agosto 2009 a principios de Mayo 2010, la combinación condiciones ambientales de temperatura, nutrientes, calado y velocidad no fueron favorables para el crecimiento de la especie en su conjunto. No obstante, en algunas clases de tamaños sí que se produce crecimiento neto. Este último aspecto coincide con las conclusiones aportadas por Young et al (1996) que apuntan que en la predicción del impacto ecológico de las poblaciones de DP, el conocimiento de la estructura por tamaños de la población es de singular importancia, puesto que resulta tener una elevada repercusión en los resultados obtenidos.

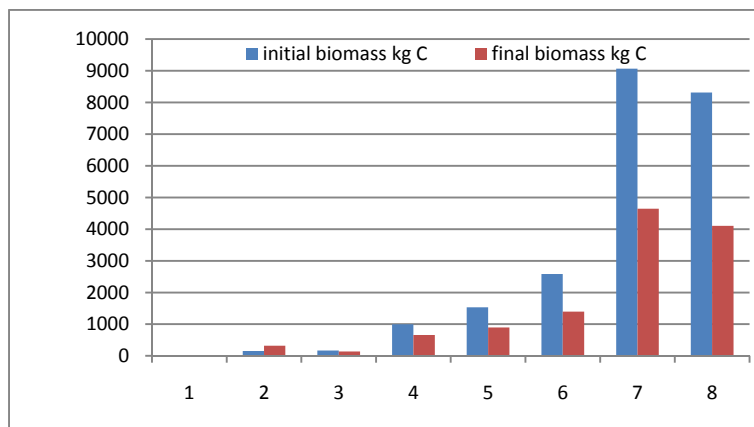


Figura7: Incremento de cantidad de biomasa de DP presente en el conjunto del embalse.

Para comprender este proceso se analizan los resultados de cada una de las variables de estado de DP en un punto concreto del dominio (coordenadas 4576180, 752925) en el que para todo el periodo simulado, el hábitat se ha considerado adecuado (respecto a los valores de velocidad y profundidad del agua). Se muestran los resultados de evolución de la biomasa en cada una de las clases. En la clase de menor tamaño (Figura8), el crecimiento es pronunciado, lo que conduce a que exista una transferencia a la clase de superior tamaño(Figura8),, donde la línea de evolución es creciente(Figura9). Pero en cambio en el resto de clases (Figura9), aunque se presenten incrementos de biomasa asociados a una mayor concentración de fitoplancton en el punto a análisis, el cómputo global resulta negativo.

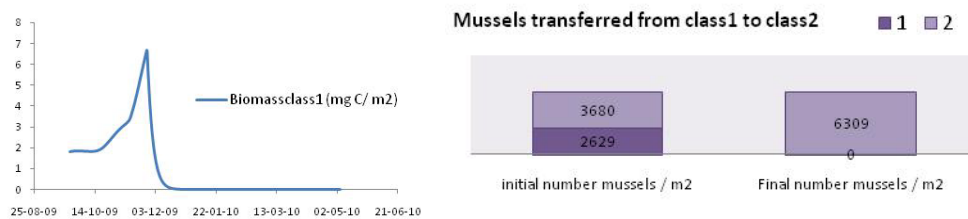


Figura 8: Evolución biomasa de la clase 1 y transferencia entre clases 1 y 2 en un punto del dominio (coordenadas 4576180, 752925).

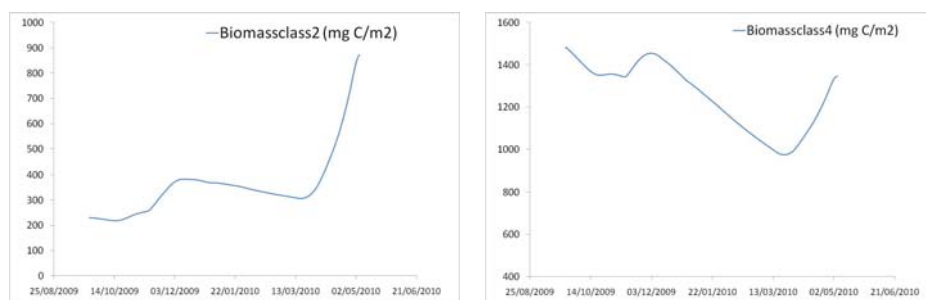


Figura 8: Evolución biomasa de las clases 2 y 4 en un punto del dominio (coordenadas 4576180, 752925).

4 Conclusiones

La modelización Ecohidrodinámica es una herramienta imprescindible para la gestión de los sistemas fluviales y la consecución del buen estado ecológico que propugna la Directiva Marco del Agua, suministrando herramientas para establecer racionalmente estados de referencia de las masas de agua, caudales ambientales que contemplen la dilución de contaminantes y programas de medidas efectivas, así como instrumentos analíticos para evaluar el impacto de especies alóctonas y controlar su difusión.

Se ha utilizado el paquete informático MIKE 21 extendido con los módulos HD-TS, AD y ECOLab para generar un modelo eco-hidrodinámico de flujo bidimensional capaz de predecir la evolución del crecimiento del estadio adulto del mejillón cebra en función de las condiciones hidrodinámicas y ambientales, aunando un modelo estándar de eutrofización de aguas dulces con una extensión del modelo bioenergético (Schneider, 1992) para el DP. Este modelo se ha aplicado al embalse de Mequinenza, simulando la evolución de las colonias de la especie a lo largo del periodo 23/09/2009 a 04/05/2010 con objeto de demostrar la viabilidad del uso de este tipo de modelos en condiciones reales de tramos de cauces extensos (110 km) y geometrías extremadamente complejas, como sería el contorno meandriforme y dentrítico de dicho embalse.

La modelización de los parámetros más determinantes para evolución de la especie (temperatura y fitoplancton) muestra un acuerdo satisfactorio para los propósitos perseguidos. Si bien no se dispone todavía de datos sobre el crecimiento de las colonias que permitan calibrar el modelo, el comportamiento cualitativo de los resultados respecto a la evolución de la biomasa del DP resulta estable y coherente, respondiendo adecuadamente a los análisis de sensibilidad y mostrando comportamientos comprobados en estudios previos. Los resultados indican que, a pesar de la resiliencia de la especie, la combinación de condiciones desfavorables pueden inducir un decrecimiento de su extensión, aspecto que podría explotarse en el futuro para diseñar mediada de control naturales.

El modelo debe extenderse en el futuro para incluir las fases reproductivas y larvares, que son las que determinan los aspectos de diseminación de las colonias, siendo además necesario, un seguimiento en campo de la evolución de las colonias detectadas para permitir una calibración del modelo.

5 Agradecimientos

PROYECTO I+D+i 100/RN08/03,4 "CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA Y SUS AFECCIONES EN LA CUENCA DEL EBRO"

A DHI, en especial a Jose Antonio Arenas, Ole Svenstrup y Eric Rasmussen, por su colaboración y soporte en la implementación del modelo.

6 Bibliografía

Anhidra (Imanol Cía et al)- Lérida/ Facultad de Veterinaria (Miguel Peribáñez et al)- Universidad de Zaragoza. *Documentación interna*. PROYECTO I+D+i 100/RN08/03,4 “CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA Y SUS AFECCIONES EN LA CUENCA DEL EBRO”

Burlakova, L. E., Karatayev, A. Y., & Padilla, D. K. (2006). Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time. *Hydrobiologia*, 133-146.

Cía Abaurre, Imanol, 2008. Ecología del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior del río Ebro. Problemática y posibilidades de control. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

DHI, 2007a. MIKE 21 flow model, hydrodynamic and transport module, scientific documentation. DHI Water Environment Health, Hørsholm.

DHI, 2007b. ECOLab, user guide and short scientific description. DHI Water Environment Health, Hørsholm.

DHI, 2007c. Eutrophication model 1. DHI Water Environment Health, Hørsholm.

DHI, internal documentation. Size structured model of mussel growth. A contribution to Project Essense. Flemming Møhlenberg and Eirk Kock Rasmussen.

Ecohydros, 2008. Aplicación de tecnologías acústicas de detección y evaluación de poblaciones de peces y mejillón cebra en los embalses de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de medio ambiente Rural y Marino. Gobierno de España.

Egbert, H. v. N., Ruurd, N., Eddy, H. H. R. L., Rob, P., Bart, R., & Edwin, T. H. M. P. (2007). Modelling the effects of diving ducks on zebra mussels *Dreissena polymorpha* in lakes. *Ecological Modelling*, 211, 481.

Griebeler, E. M., & Seitz, A. (2006). Effects of increasing temperatures on population dynamics of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*: Implications from an individual-based model. *GLOBAL CHANGE AND CONSERVATION ECOLOGY*.

Morales, Y., Weber, L. J., Mynett, A. E., & Newton, T. J. (2006). Effects of substrate and hydrodynamic conditions on the formation of mussel beds in a large river. *The North American Benthological Society*,

Morales, Y., Weber, L. J., Mynett, A. E., & Newton, T. J. (2006). Mussel dynamics model: A hydroinformatics tool for analyzing the effects of different stressors on the dynamics of freshwater mussel communities. *Ecological Modelling*, 197, 448.

Schneider, D. W. (1992). A bioenergetics model of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, growth in the great lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 1406-1416.

Rasmussen, E. Kock, Petersen, O.S., Thompson, J.R., Flower, R.J., Ayache, F., Kraiem M., Chouba L.. Model analyses of the future water quality of the eutrophicated Ghar El Melh lagoon (Northern Tunisia). *Hydrobiologia* (2009), 622: 173-193.

Schöl, A., Kirchesch, V., Bergfeld, T., & Müller, D. (1999). Model-based analysis of oxygen budget and biological processes in the regulated rivers Moselle and Saar: Modelling the influence of benthic filter feeders on phytoplankton. *Hydrobiologia*, (410), 167-176.

Schöl, A., Kirchesch, V., Bergfeld, T., Schöll, F., Borcharding, J., & Müller, D. (2002). Modelling the chlorophyll a content of the river Rhine - interrelation between riverine algal production and population biomass of grazers, rotifers and the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 87, 295-317.

Strater, D. L., & Malcom, H. M. (2006). Long-term demography of a zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) population. *Freshwater Biology*, 51, 117-130.

Young, Brenda L., Padilla, Dianna K., Schneider, Daniel W., & Hewett, Stephen W. (1996). The importance of size-frequency relationships for predicting ecological impact of zebra mussel populations. *Hydrobiologia*, 332: 151-158.

Walz, N (1978). The energy balance of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* PALLAS in laboratory experimentes and in lake Constance. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 55, 1, 83-105.

Zaragoza, septiembre 2006. Características generales de la biología y el comportamiento del mejillón cebra*. Documento Divulgativo, Confederación Hidrográfica del Ebro.