

La afección del mejillón cebra y su posible lucha en las infraestructuras, especialmente en los riegos tradicionales y modernizados del Levante Ibérico



Rafael Araujo Armero

Museo Nacional de Ciencias Naturales

C/ José Gutiérrez Abascal 2

28006 Madrid

La afección del mejillón cebra y su posible lucha en las infraestructuras, especialmente en los riegos tradicionales y modernizados del Levante Ibérico

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Breve historia biogeográfica del mejillón cebra.....	2
1.2. Identificación del mejillón cebra.....	3
1.3. Biología del mejillón cebra.....	4
1.4. El potencial invasor del mejillón cebra.....	5
2. SITUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL.....	6
3. MEDIDAS DE CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA.....	9
3.1. Consideraciones generales.....	9
3.2. Casos prácticos.....	11
3.2.1. Planta de toma de agua en Monroe	11
3.2.2. Plantas energéticas en Sudamérica	13
3.2.3. Trasvase de Garrison.....	14
3.2.4. Modelo de predicción de transporte del mejillón cebra a través de barcas.....	15
3.2.5. Estudio del potencial de transmisión del mejillón cebra a través del meridiano 100 (EEUU).....	17
3.2.6. Modelo de asignación de recursos para prevención de la plaga del mejillón cebra <i>versus</i> control, riesgos aceptables de invasión y consecuencias económicas.....	17
3.3. Sistemas de control y lucha.	17
3.3.1. Acciones directas.....	17
3.3.2. Establecimiento de una estrategia nacional de control y prevención.....	23
3.3.3. Concienciación social.....	24
4. LA POSIBLE AFECCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA A LOS SISTEMAS DE RIEGO VALENCIANOS.....	25
4.1. Consideraciones generales.....	25
4.2. Los sistemas de riegos valencianos.....	26
5. REFERENCIAS.....	36

La afección del mejillón cebra y su posible lucha en las infraestructuras, especialmente en los riegos tradicionales y modernizados del Levante Ibérico

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Breve historia biogeográfica del mejillón cebra

El mejillón cebra (*zebra mussel* en inglés) es un molusco bivalvo de agua dulce que fue descubierto en el Río Ural en 1769 y descrito como nueva especie con el nombre científico de *Dreissena polymorpha* por el zoólogo ruso Piter Pallas en 1771 a partir de ejemplares del mar Caspio. Debido a su parecido con el mejillón marino, se denominó originalmente con el género *Mytilus*, pero ambas especies no guardan ninguna relación filogenética entre sí, perteneciendo incluso a familias diferentes.

El grupo de los mejillones cebra es endémico de las aguas dulces y salobres del norte de las cuencas del mar Ponto-Cáspico (Mares Negro, Caspio y Azov) y de los lagos tectónicos dulces y salobres al sur de dichos mares. La distribución de la subespecie *D. polymorpha polymorpha* en particular incluye los estuarios y partes bajas de grandes ríos que vierten al norte de los mares Negro y Caspio, donde habita en equilibrio biológico. Probablemente, los patrones genéticos actuales del género *Dreissena* se han derivado de los especiales fenómenos geológicos y climáticos ocurridos en esta zona. Las numerosas fluctuaciones e inestabilidad de la cuenca del Mar Ponto-Cáspico, unidas a la dispersión pasiva de las poblaciones de los moluscos, han producido un elevado grado de fragmentación genética entre las poblaciones de las diferentes cuencas. De este modo, las frecuentes extinciones y colonizaciones han favorecido el elevadísimo potencial reproductor de esta especie, base de su gran capacidad invasora (Gelembiuk, May & Lee, 2006).

A partir del siglo XVIII y gracias a la construcción de sistemas de canales que conectaron las diferentes cuencas fluviales en Eurasia, *D. polymorpha* comenzó su expansión por Europa, de forma que ya en 1850 ocupaba la mayoría de los ríos y canales de Inglaterra. En los años ochenta del siglo XX empezó a invadir América del Norte probablemente ayudado por el transporte marítimo de mercancías provenientes de Centro Europa. Ahora mismo se trata del invasor más destructivo en las aguas de Norte América, con un impacto económico de billones de dólares (OTA 1993)

Actualmente, y gracias sobre todo al aumento de actividades y presiones humanas sobre las masas de agua (tráfico de mercancías entre continentes, navegación deportiva y de recreo, trasvases de agua, obras hidráulicas, encauzamientos, embalses, etc), *D. polymorpha* está presente y sigue su invasión en numerosas aguas continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses) de América del Norte y Europa. Esta situación ha ido paralela al desarrollo de cientos de trabajos científicos sobre la biología y ecología del mejillón cebra, numerosas reuniones científicas y la adopción de ciertas medidas preventivas en relación con los daños ecológicos y socioeconómicos que ocasiona esta especie.

Desde la primera cita sobre la presencia del mejillón cebra en la Península Ibérica en 2001 en el bajo Ebro (Ministerio de Medio Ambiente, 2001), la especie parece haber progresado no sólo aguas arriba de la cuenca del Ebro (embalse de Sobrón y Ebro en La Rioja y Álava), sino también a la cuenca del Río Mijares (embalse de Sitjar) (Ministerio de Medio Ambiente, 2005) y probablemente a la del Júcar (embalse de Forata). La especie puede ahora mismo ocupar otros ecosistemas ibéricos pero no haber sido todavía descubierta.

1.2. Identificación del mejillón cebra

Concha de 2 a 3 cm de longitud de forma triangular alargada y borde externo romo. Aunque puede parecer similar en aspecto a un pequeño mejillón marino, su concha presenta un patente dibujo de bandas blancas y oscuras en zigzag. Se sujeta al sustrato mediante un biso, formando colonias en forma de extensos y densos racimos o tapetes semejantes a las mejilloneras marinas.

Se puede confundir con otras especies similares como *Dreissena stankovici* (endémica de Grecia), *D. caputlacus* (Turquía), otras subespecies de *D. polymorpha* (*D. p. anatolica*, *D. p. gallandi*), *D. bugensis* (mejillón quagga, nativo de los estuarios del Mar Negro) (May, Gelembiuk, Panov, Orlova & Lee, 2006), o con el "mejillón dorado" (*Limnoperna fortunei*), que causa el mismo tipo de daños en el Sur del continente Americano (Darrigran & Damborenea, 2006), pero ninguna de ellas parece estar presente en la Península Ibérica. Otra especie similar, *Mytilopsis leucophaeta*, ha sido citada recientemente en España en aguas del Guadalquivir cerca de Sevilla (Escot, Basanta, Cobo y González, 2003).

1.3. Biología del mejillón cebra

Habita preferentemente en grandes lagos y ríos, pero también en embalses, depósitos para riego y refrigeración y prácticamente todo tipo de aguas dulces cuya salinidad no supere niveles entre el 5 y 7‰ (Vinogradov, Smirnova, Sokolov & Bruznitsky, 1993). El mejillón cebra es una especie dioica (de sexos separados) que libera espermatozoides y óvulos al agua, donde posteriormente se produce la fecundación. De este modo se producen millones de larvas planctónicas de gran capacidad de dispersión, lo que favorece una rápida expansión de la especie. Después del cigoto (óvulo fecundado), las siguientes fases son: larva trocófora (sin concha), velíger (con dos pequeñas valvas y un velo), también llamadas larvas D cuando están un poco más crecidas y formas umbonales (cuando han desarrollado el umbo o ápice de la concha), pedivelíger (cuando han desarrollado el músculo del pie) y finalmente, postlarvas y juveniles cuando ya son capaces de fijarse a un sustrato. Sin duda se trata de la especie de molusco con mayor capacidad reproductiva de todas las conocidas. Una hembra puede liberar un millón de huevos al año durante sus 2 ó 3 años de vida (Nalepa & Schloesser, 1993; Nichols, 1996), aunque dada la enorme mortandad que se produce (99%), no todos estos huevos se convierten en larvas y posteriores ejemplares adultos. Gran parte de esta mortalidad se produce a la hora de la fijación de las larvas, cuando éstas no encuentran un sustrato adecuado donde poder hacerlo.

Generalmente las larvas permanecen en el plancton entre 4 y 5 semanas (Neumann, Borcharding & Jantz, 1993). Los ejemplares pueden empezar a reproducirse entre los 4-6 mm, aunque siempre dependiendo de las condiciones climáticas. La reproducción ocurre a partir de temperaturas entre los 12 y 13 °C pudiendo sincronizarse en algunas semanas o repartirse a lo largo del año (Nichols, 1996).

En el Río Ebro, la única población ibérica que ha sido estudiada hasta el momento, (Araujo, Gómez & Valladolid, 2007), los juveniles aparecen en julio y agosto, siendo más común su fijación a los 3 metros que a mayor profundidad. Durante los primeros tres meses de vida alcanzan los 15 mm, prácticamente la mitad de su talla total. Estos juveniles pueden ser ya sexualmente maduros al final de la estación reproductiva (septiembre).

En otras zonas de Europa (Río Rin) se ha visto que las larvas fijadas en mayo (Neumann, Borcharding & Jantz, 1993) alcanzan los 14 mm el primer verano y empiezan a reproducirse el siguiente año. Sin embargo, las larvas que se fijan en agosto, solamente alcanzan los 4 mm en el invierno.

Coloniza preferentemente aguas ricas en calcio ($\text{Ca} > 15 \text{ mg/l}$). La tasa de filtración de agua del mejillón cebra está entre los 10 y 100 ml por individuo y hora (Hinz & Schiel, 1972; Stanczykowska, Lodzimier, Mattice & Lewandowski, 1976), intermedia entre la de las náyades (60-490 ml/individ/hora) y la de los esféridos (0,6-8,3 ml/individ/hora), el otro gran grupo de bivalvos dulceacuícolas. Esta capacidad, además de indicarnos el efecto que esta plaga puede ocasionar sobre los ecosistemas naturales una vez se ha establecido, puede explicar el porqué en determinadas circunstancias el mejillón cebra ha sido utilizado como herramienta para procesos de purificación o aclaración de las aguas en algunos canales y lagos europeos (Smit, bij de Vaate, Reeders, van Nes & Noordhuis, 1993; Reeders, bij de Vaate & Noordhuis, 1999).

El mejillón cebra carece de interés gastronómico y su consumo no es en absoluto recomendable, por lo que no se trata de una especie comestible.

1.4. El potencial invasor del mejillón cebra

El mejillón cebra puede contaminar nuevas zonas no solamente a través de ejemplares adultos trasladados, sino también, y fundamentalmente, a través de sus fases larvarias, tan abundantes en el agua. Por ello, las principales vías de entrada de la especie, por orden de importancia, serían: el agua de lastre de grandes barcos, los trasvases de agua, las embarcaciones de pesca y recreo, la utilización de la especie como cebo vivo, los acuarios y el comercio de jardinería. No obstante, es interesante diferenciar estos vectores dependiendo de si se trata de invasiones de nuevos continentes, países y/o cuencas. De este modo, en el primer caso, el agua de lastre contaminada sería fundamental a la hora de una invasión de un nuevo continente, como probablemente fue el caso de los EEUU, mientras que son generalmente las embarcaciones pequeñas las responsables de invasiones desde lugares más próximos, como ha sido el caso de la cuenca del Ebro desde probablemente aguas infectadas de Francia (Rajagopal, com. pers.). Además, las corrientes de agua, aves migratorias y otros animales pueden contribuir a su potencial distribución natural. (Mackie, 1999; Thorp, Alexander & Cobbs, 2002).

En ríos con corriente, las larvas siempre serán arrastradas aguas abajo de las poblaciones parentales, que, salvo que tengan un aporte superior de nuevas larvas (por ejemplo de un embalse existente aguas arriba), desaparecerán en pocos años.

Si calculamos un período de 10 días de duración de estado planctónico de las larvas antes de su fijación (en realidad es de entre 10 y 30 días dependiendo de las poblaciones), y un río

con baja corriente (por ejemplo 0,1 m/s), estas larvas alcanzarían en dicho período una zona 86,4 km aguas abajo del punto donde han sido emitidas ($0,1 \text{ m/s} \times 1 \text{ km}/1000 \text{ m} \times 10 \text{ días} \times 60 \text{ seg/min} \times 60 \text{ min/hora} \times 24 \text{ horas/día} = 8,64 \text{ km/día}$) (Mackie, 1999).

La diseminación del mejillón cebra puede entrañar riesgo para la salud humana por su posible capacidad como transmisor de vectores patógenos. La muerte por botulismo de cientos de aves acuáticas y peces en los Grandes Lagos de EEUU ha podido deberse a la ingestión de mejillones cebra contaminados. Aunque no está demostrado, la enfermedad podría así transmitirse al hombre por ingestión de carne contaminada (Álvarez y Araujo, 2001).

Siempre habrá que tener en cuenta la posibilidad de que existen vectores de transferencia contra los que se debe seguir luchando, desde las expansiones naturales, hasta el uso del molusco como cebo vivo o las introducciones intencionadas por vandalismo.

Pese a todo, el mejillón cebra no es capaz de invadir todos los ecosistemas posibles. Según Padilla (2005), en EEUU solamente se ha encontrado en menos del 1% de los lagos, mientras que en Bielorrusia, donde la especie lleva más de 200 años, de los 500 lagos estudiados sólo el 17% están infectados. Según esta autora, para que la invasión prospere, deben cumplirse cinco pasos que no siempre se producen con éxito: 1. Un determinado vector debe traslocar individuos adultos reproductores desde la población original. 2. El vector debe trasladar los individuos a un habitat apropiado. 3. Los individuos traslocados deben sobrevivir al transporte. 4. Los ejemplares (o su descendencia, si se han reproducido durante el transporte) deben ser depositados en un habitat donde no sólo sobrevivan sino que también puedan reproducirse. 5. Estos ejemplares traslocados, además de reproducirse con éxito, deben producir reclutamiento de juveniles que a su vez deben mantenerse para dar lugar a una población sostenible.

2. SITUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL

Todas estas características mencionadas en el apartado anterior explican que la invasión del mejillón cebra suponga un grave riesgo de desastre ecológico y socioeconómico en los ecosistemas donde se produce. Por ello, desde el momento en que coloniza y se reproduce con éxito en un nuevo país, podemos hablar ya de un grave riesgo ambiental. Este riesgo

debe ser contrarrestado mediante medidas de prevención para evitar su proliferación y ulterior introducción en zonas y/o cuencas que no estén afectadas. Pese a todo, siempre tenemos que tener en cuenta que la gran capacidad colonizadora y reproductiva de *D. polymorpha* una vez se ha establecido en una nueva cuenca o país, unida al mantenimiento de políticas hidrológicas que faciliten su expansión, hace prácticamente imparable la progresiva colonización de diferentes áreas en dicha cuenca o país. No es una cuestión de pensar si la especie llegará, sino de cuándo llegará (Mackie, 1999).

Gracias a la bibliografía sabemos que la presencia de este bivalvo invasor está causando pérdidas económicas millonarias así como alteraciones ecológicas dramáticas. El mejillón cebra se alimenta de fitoplancton y afecta a toda la fauna y flora silvestres modificando totalmente el ecosistema donde aparece. En zonas con grandes poblaciones de la especie, la gran cantidad de biomasa acumulada en las pseudoheces (material no digerido y expulsado al agua) se deposita en el fondo causando un cambio sustancial en la energía desde la zona pelágica a la zona bentónica (Griffiths, 1993). Es conocido también su efecto devastador sobre las especies de bivalvos autóctonos o náyades, uno de los grupos animales en mayor peligro de extinción (Schloesser, Nalepa & Mackie, 1996; Ricciardi, Neves & Rasmussen, 1998; Strayer, 1999). Además, al cubrir y tapizar todo el sustrato que encuentra a su paso, llega a obstruir cañerías, circuitos de refrigeración e irrigación y conducciones hidráulicas en general. Igualmente, la acumulación de miles de valvas de mejillones muertos modifica el sustrato de los fondos de los ríos, de las playas de ribera y de los sedimentos fluviales.

Los impactos ecológicos y socioeconómicos producidos por esta especie son los más severos de todos los conocidos hasta ahora producidos por una especie introducida. Según Mackie (1999a), estos impactos podrían dividirse en cuatro grandes grupos, los cuatro por cierto susceptibles de afectar los sistemas que nos ocupan en particular en este informe: a) sobre la industria y las instalaciones, b) sobre las pescas y el medio natural, c) sobre la navegación y d) sobre las propiedades privadas.

- a) Sobre la industria y las instalaciones. Colapso de rejillas y filtros de presas hidráulicas y circuitos de refrigeración de centrales energéticas. En el caso de tuberías y conducciones domésticas e industriales, la acumulación de colonias de mejillón cebra causa reducción en su diámetro inferior, disminución del flujo de agua por fricción (en vez de laminar se hace turbulento), corrosión en caso de ser de aluminio o hierro, deposición de conchas en la desembocadura y contaminación y/o cambio de color del agua tras la muerte de ejemplares (especialmente tras programas

de control). Todos estos problemas también se han producido en sistemas de riego instalados bajo tierra, por ejemplo de campos de golf, que toman el agua de zonas contaminadas.

- b) Inutilización de redes de pesca (tanto pelágicas como de fondo) mantenidas en el agua durante largos períodos de tiempo. Disminución en la biodiversidad de especies de peces, por la disminución de plancton. Aumento de los niveles de contaminantes al pasar a la cadena alimentaria. Reducción del fitoplancton con el consiguiente aumento de transparencia en el agua y de los macrófitos. Cambios en el comportamiento de los peces. Disminución y extinción de las especies de bivalvos nativos, especialmente náyades. Alteración en la estructura y abundancia de las comunidades bentónicas.
- c) Incrustación y recubrimiento (“fouling”) por colonias de mejillones en los cascos y motores de barcos, barcas de recreo y pesca deportiva, así como en balizas y boyas que acaban sumergiéndose.
- d) Deposición de alfombras de conchas sobre las playas, peligrosas por ser objetos cortantes y que restan valor estético al paisaje. “Fouling” en las tomas de agua y conducciones particulares en ciudades y urbanizaciones.

Para entender este gigantesco problema, es interesante asumir una serie de ideas previas (Minns & Cooley, 1999):

- La especie humana, con su gran capacidad tecnológica, ha tendido siempre a dirigir la naturaleza hacia sus propios fines.
- La sobreexplotación de los recursos de la tierra está creando condiciones potencialmente perjudiciales para todas las formas de vida, incluido el hombre.
- La frecuencia y la existencia de impactos negativos debidos a introducciones de especies exóticas se está incrementando.

Una serie de acciones complementarias que podrían ayudar a mejorar la situación *a priori* podrían ser (modificado de Minns & Cooley, 1999):

- Una política consistente y anticipatoria coordinada a nivel regional, nacional e internacional.
- Realizar una evaluación de riesgos realista, que requeriría financiación por parte del Gobierno para alcanzar el necesario conocimiento científico.

- Aplicación del Principio de Precaución. Si el nivel de conocimiento antes de realizar una acción que afecte a los ecosistemas naturales no es suficiente para reducir las incertidumbres a un nivel por lo menos aceptable, no realizar la acción.
- Establecer leyes encaminadas al bien de la biosfera. Las regulaciones basadas en criterios solamente comerciales o de libre mercado no aseguran la buena salud de los ecosistemas.

3. MEDIDAS DE CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA

3.1. Consideraciones generales

Como punto de partida es necesario recordar que la mayoría de las actuaciones humanas sobre los ecosistemas de agua dulce favorecen la aparición de muchas especies invasoras y del mejillón cebra en particular. La construcción de embalses, azudes, derivaciones y otras infraestructuras para favorecer al riego, la pesca, la navegación y la instalación de plantas energéticas, provoca unos cambios en los ecosistemas que son rápidamente aprovechados por esta plaga. Obviamente no es éste el lugar de cuestionar esta política hidráulica, pero sí es necesario afirmar que ya desde hace mucho tiempo es conocido el precio ambiental, social y económico que se debe pagar por ello en un futuro no muy lejano.

Desde un punto de vista más pragmático, es también importante saber que sin poblaciones de adultos aguas arriba emitiendo larvas cada año, el mejillón cebra no podría prosperar en un nuevo hábitat (Stoeckel, Rehmann, Schneider & Padilla, 2004), durando la población exclusivamente lo que duraría el período de vida de los adultos (entre 2 y 3 años). No obstante, en las zonas de remanso de los ríos o donde las corrientes tienden a mantener la posición de las larvas en una misma zona, las poblaciones del mejillón se alimentarán a sí mismas a través de larvas emitidas por los adultos fijados en el fondo. De aquí se deriva que si no existieran grandes embalses en los cursos de los ríos, el mejillón cebra no tendría tanto éxito (al menos no se convertiría en la gran peste que hoy es) en muchos de los ríos del mundo (Mackie, 1999). Es decir, el mejillón cebra nunca tendría éxito en los ríos que no estuvieran regulados.

Como ya se ha dicho, hay que tener siempre en cuenta que una vez se ha establecido *D. polymorpha* en un nuevo ecosistema, es prácticamente imposible su erradicación. Sin embargo, en el caso de masas de agua controlables, como depósitos o estanques donde toda

la masa de agua pueda ser tratada, sí se puede pensar en aplicar medidas de control e incluso de eliminación de la especie.

A continuación se exponen las características biológicas y ecológicas de la especie en relación a su posible control, tanto natural como por medios artificiales:

La morfología de la concha del mejillón cebra está perfectamente adaptada a la vida bentónica en las aguas donde prolifera, necesitando siempre un sustrato donde las larvas puedan fijarse. La superficie ventral aplastada, ayudada por el biso adherente, permite a los ejemplares apretarse sobre el sustrato al que se fijan. Además, su forma triangular hace más difícil que los predadores puedan raspar y tirar de ellas, aunque en grandes colonias siempre hay ejemplares que quedan accesibles por ejemplo a las carpas. Según Mackie (1999a), es el único bivalvo de agua dulce con este tipo de adaptaciones. También incluye otras habilidades como la capacidad de supervivencia frente a largos períodos de desecación (13 días con baja humedad), turbidez y a veces, hipoxia. En cuanto a la turbidez, parece ser que las diferentes poblaciones responden de diferentes maneras, siendo capaces de adaptarse a aguas turbias ajustando su tasa metabólica (Summers, Thorp, Alexander & Fell, 1996). Son más sensibles sin embargo a las bajas temperaturas, muriendo en 24 horas a -3°C (Clarke, McMahon, Miller & Payne, 1993). En cuanto al calor, se sabe que temperaturas entre 34 y 37°C son letales para la especie (McMahon, Ussery, Millar, & Payne, 1993). No obstante, parece que también tienen cierta capacidad de adaptación, especialmente en embalses y lagos con estratificación térmica estacional. Sí se ha visto que la especie *D. bugensis* tolera mejor las altas temperaturas, de forma que puede ser una especie más adaptada a latitudes inferiores que el mejillón cebra *D. polymorpha* (Thorp, Alexander & Cobbs, 2002). También son variables los resultados en cuanto a su tolerancia a límites de salinidad (Strayer & Smith, 1993), existiendo poblaciones naturales que viven en aguas con valores menores del 1‰ (este del Golfo de Riga), del 2 ‰ (este del Golfo de Finlandia) o en zonas más salinas como el delta del Vístula (3,3-4,8 ‰), el canal al norte del Mar Báltico (3,8-6,2 ‰), orilla norte del Mar Caspio (6-9 ‰) o el Mar de Aral (10,2 ‰), donde parece que la especie ha desaparecido en los últimos años por el aumento de salinidad (28 ‰) debido a las derivaciones de agua para riego. Sí parece haberse demostrado que la especie puede aclimatarse a cambios graduales de salinidad, pero sin embargo es bastante sensible a cambios bruscos de esta variable, tanto disminuciones como aumentos (5 ‰) (Strayer & Smith, 1993).

La existencia de una larva planctónica hace de este estadio una fase susceptible de ser predada por el zooplancton, algunos crustáceos y las larvas de peces. Se ha visto que una elevada turbulencia provocada en el agua induce una elevada mortandad en las larvas de *D. polymorpha*, aunque no está demostrado si es debido a los efectos directos e inmediatos de la turbulencia (durante unos pocos minutos) o a una exposición durante largas temporadas (Rehmann, Stoeckel & Schneider, 2003). En cuanto a la fase adulta, con un elevado valor nutritivo en sus tejidos, suele ser predada por cangrejos, peces y aves acuáticas. Dado que los valores nutritivos de los ejemplares varían con las estaciones (Waltz, 1978), también la predación varía estacionalmente. Aunque todavía no se ha estudiado en detalle, el elevado potencial reproductivo del mejillón cebra unido a la permanencia de fuentes constantes de larvas aguas arriba (embalses), hacen que el control de la especie en un ecosistema natural solamente por predación (peces, aves y cangrejos) no parezca ser posible. Sí se ha comprobado que localmente la predación por aves acuáticas puede disminuir hasta en un 97% la biomasa del mejillón cebra en algunos lagos europeos, especialmente en los meses de invierno (Mackie, Gibbons, Muncaster & Gray, 1989, en Mackie 1999a).

En cuanto a un posible control por parásitos, independientemente de los posibles y desconocidos problemas colaterales que podría desencadenar (infecciones en peces, en bivalvos autóctonos, otros invertebrados o incluso en el ser humano), hasta el momento no se ha citado ningún grupo cuya acción pueda servir como auténtico control para la plaga ya que los porcentajes de prevalencia son mínimos (Davids & Kraak, 1993; Peribañez, Elrío, Gracia, Fernández de Luco, Castillo, Lucientes y Cía, 2006). Sí se ha visto que las esponjas, cuyo número suele aumentar con la aparición de poblaciones del mejillón, puede llegar a competir por la disponibilidad de sustratos e inhibir la fijación de nuevos ejemplares (Mackie 1999a).

3.2. Casos prácticos

3.2.1. Planta de toma de agua en Monroe (LePage, 1993)

Se trata de uno de los primeros casos detectados e ilustrados de la enorme afección negativa que el mejillón cebra puede provocar en un sistema de potabilización de agua, y quizá el que dio a conocer las primeras imágenes impactantes sobre la plaga. Se trata de un sistema de bombeo que toma el agua en el extremo oeste del Lago Erie y la conduce hasta una planta de tratamiento para su ulterior distribución. El proceso de tratamiento del agua antes de su

almacenamiento incluye peroxidación con ozono (para control de sabor y olor), desinfección con cloro, clarificación con alumbre, corrección de pH, fluorización, filtración y control de la corrosión con ortofosfato de zinc. El agua almacenada es posteriormente bombeada a través de una o dos estaciones con capacidad de $9,1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{día}$. Dispone además de una planta de energía eléctrica asociada.

La especie se descubrió el 29 de enero de 1989 durante una inspección de rutina del sistema de aplicación de ozono, a 16 km de la toma de agua en el lago. No se vieron ejemplares en la zona donde la concentración de ozono en el agua era de 1,5 mg/l. La última revisión se había producido el 14 de abril del año anterior. En julio de ese mismo año la disponibilidad de agua del sistema, que no había dejado de funcionar ininterrumpidamente desde 1924, se vio reducida en un 20%, afectando a una población de 45.000 habitantes.

El 22 de junio los buceadores ya observaron ejemplares en torno a la toma de agua en el lago, y a lo largo del verano, grandes colonias de mejillones entre 1 y 2 cm aparecieron en los filtros subacuáticos de protección. En esas fechas la capacidad de bombeo del sistema había disminuido un 7%. Las zonas de unión entre las tuberías de cemento que conducían el agua (76 cm de diámetro) tenían colonias de 5 cm de espesor. La toma de agua sumergida en el lago se limpió el 15 de julio, apareciendo prácticamente cubierta de juveniles otra vez el 14 octubre.

El 1 de septiembre del mismo año la planta dejó repentinamente de funcionar, por lo que fue necesario poner en marcha estaciones de bombeo de emergencia que tomaran el agua fuera del lago.

En seguida se comenzó un tratamiento de 63 días continuos de uso de cloro (225 kg/día) que a los 14 días produjo la acumulación de grandes cantidades de tejidos de mejillón cebrado en todos los filtros e instrumentos con pequeños orificios. La acumulación de conchas vacías en partes del sistema de aplicación de ozono llegó a formar una alfombra de 1 metro de altura.

En diciembre de 1989 la toma de agua del lago apareció completamente bloqueada por hielo, provocando una segunda y más grave paralización del sistema durante 56 horas que afectó a industrias, comercios, bares y escuelas. Se supuso que las colonias de mejillón allí instaladas contribuyeron de forma importante al taponamiento con hielo.

Tras el uso de diferentes métodos de limpieza de las tuberías del sistema y períodos de aplicación de cloro, se concluyó que el aporte de este elemento no sólo debe limitarse a los meses cálidos sino también a lo largo del invierno (6 horas diarias de lunes a viernes). La

aplicación de cloro alternado con la de hipoclorito sódico debe ser controlada para conocer la concentración de cloro residual en el agua al final del sistema.

El coste de todo el proceso a lo largo de un año fue de 300.000 dólares. Otros casos similares de invasión y control contra la plaga en el sistema de refrigeración de otras plantas energéticas (térmicas, de gas y nucleares) también en los Grandes Lagos, pueden documentarse en Kovalak, Longton & Smithee (1993).

3.2.2. Plantas energéticas en Sudamérica (Darrigran y Damborenea, 2006)

En este apartado se van a desarrollar los aspectos generales vinculados a la prevención y control de plantas energéticas ante la amenaza del macrofouling del mejillón dorado (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857), especie similar al mejillón cebra que ha invadido las aguas dulces de América del Sur, y que puede servir perfectamente de ejemplo ante una problemática similar producida por *D. polymorpha*.

La estrategia de acción será de reacción/control si la especie invasora ya se ha instalado en la planta o de protección/prevención si todavía no ha llegado. En ambos casos se debe conocer primero la estructura y funcionamiento de la planta, la biología del organismo en el ambiente en particular, su distribución geográfica y capacidad de dispersión y qué problemas ha originado en otras plantas similares.

Definimos una planta modelo, con tres módulos (I. Estructura de toma de agua, II. Zona de compuertas y III. Zona de distribución, que puede tener cámaras de enfriamiento y/o tratamiento del agua). El módulo I suele actuar como cámara de incubación para la especie, ideal para la fecundación, aparición y fijación de larvas durante la época de reproducción de la especie, ya que cerca de las paredes la velocidad del agua es casi nula, aunque en el centro haya mucha turbulencia. Estas larvas pasarán de forma continuada a los módulos II y III donde se instalarán en paredes, pequeños orificios, pequeñas cañerías, recodos, juntas y cualquier zona de remanso, por lo que se debe conocer al detalle este tipo de áreas de máxima susceptibilidad, generalmente aquéllas con un flujo de agua inferior a 1,5 m/seg.

Frente a un problema de macrofouling en la planta, existen dos estrategias de acción: una vía rápida, eliminándolo a través de un método poco sostenible pero eficaz, generalmente usando productos químicos (el más usado es el cloro por su menor impacto y coste) y una lenta, que debe ser puesta en marcha de forma simultánea, y que busque la combinación más adecuada de tratamientos físicos y químicos de menor impacto ambiental y bajo coste. Esta vía no suele terminar definitivamente con el macrofouling pero sí lo elimina de las zonas

más sensibles del circuito y previene el excesivo desarrollo de las poblaciones del molusco. Suele ser una mezcla de métodos físicos (filtración del agua, limpiezas mecánicas, alta velocidad de flujo, choque térmico y uso de pinturas antifouling) y químicos (cloro y otros, ver punto 3.3.). En esta estrategia de acción reactiva, la aplicación de los métodos de control puede hacerse de dos formas: al final de una estación de cría de la especie (si la planta puede tolerar el primer año de invasión) y periódica (de aplicación más frecuente y también dirigido contra las poblaciones de adultos ya instalados). Si la acción fuera proactiva para prevenir una invasión anunciada, la aplicación puede ser: intermitente (con dosificaciones a intervalos frecuentes, incluso diarias, para erradicar las larvas), semi-continua (cada 15-45 minutos, generalmente la concentración del producto químico utilizado es menor que en el caso anterior) y continua (concentraciones bajas pero continuas, para eliminar las larvas y la posibilidad de existencia de adultos).

Finalmente, se recomienda realizar una amplia labor de difusión, a través de cursos, publicaciones, documentales y exposiciones, donde se de a conocer el novedoso problema económico-ambiental de las invasiones, y del macrofouling en particular, para que sea considerado algo común y casi rutinario y se conciencie a la sociedad del grave peligro que entraña.

3.2.3. Trasvase de Garrison (Wright & Franzin, 1999)

Aunque no se trate de un caso en el que el protagonista fuera el mejillón cebra, este proyecto de trasvase de agua en los EEUU puede servirnos muy bien de ejemplo a la hora de afrontar futuros proyectos en los que potencialmente puedan contaminarse nuevos ecosistemas con esta especie invasora. En 1965 se planeó un trasvase desde el Río Missouri (trasvase de Garrison) para proveer de agua de riego, bebida e industrial al Norte de Dakota. Dado que se trataba de un plan de transferencia de agua entre diferentes cuencas y países (EEUU y Canadá), el gobierno de Canadá expresó su interés en conocer los posibles impactos del proyecto en su país. Aunque en aquél momento no se trataba exactamente de prevenir la entrada del mejillón cebra en nuevas zonas, la prevención ante la posible contaminación de una nueva cuenca con peces, huevos y patógenos exóticos provocó la creación de un comité de estudio sobre el mencionado trasvase que estuvo trabajando durante varios años. Los principales impactos previstos se referían a la disminución y/o desaparición de algunas de las especies de peces de importancia comercial en la cuenca de destino, los efectos adversos relativos a la aparición de nuevas enfermedades y patógenos, así como la disminución de la

calidad de su agua, lo que se analizó desde un punto de vista cuantitativo. Durante todo el proceso se aportaron diferentes alternativas, moratorias, disposiciones y leyes que modificaron el trasvase originalmente previsto, anulando la parte que conectaba las dos cuencas hasta que el tema quedara resuelto. Estas conclusiones fueron reevaluadas varios años después y nuevamente validadas. De este modo, y para garantizar las demandas de agua del Norte de Dakota sin poner en peligro el ecosistema de la cuenca canadiense, el proyecto fue rediseñado totalmente por ley reduciendo la extensión de las zonas de riego programadas de 250.000 acres a 130.940 acres, eliminando la posibilidad de retornos de agua a la cuenca canadiense y diseñando nuevos canales intercuenca. No obstante, las nuevas conexiones que se hicieron entre lagos y embalses para garantizar el aporte de agua para usos municipales e industriales permitía de nuevo la posibilidad de que en caso de algún fallo en las plantas de tratamiento los peces exóticos, así como sus patógenos pudieran de nuevo alcanzar la cuenca canadiense. Para evitarlo se diseñaron filtros para impedir el paso de peces así como métodos de desinfección de agua en la cuenca cedente (uso de cloro para alcanzar niveles de agua de consumo) antes de su entrada en la tubería principal, lo que además evitaba la formación de fangos. Los resultados preliminares indicaron que con 9 minutos de actuación del cloro se eliminaba el 99,9% de los virus presentes en el agua. Otra medida que se barajó fue la aplicación de ozono. Entre los años 1989 y 1994 se gastaron aproximadamente 500.000 dólares americanos en financiar tanto estudios de biodiversidad como de sistemas de filtración y esterilización.

3.2.4. Modelo de predicción de transporte del mejillón cebra a través de barcas (Schneider, Ellis & Cummings, 1997)

Este modelo se realizó con el objetivo de proteger las poblaciones de náyades (moluscos bivalvos autóctonos) de diferentes lagos de EEUU, pero es perfectamente válido para otros objetivos no sólo ecológicos sino industriales. Parte de la base de que el principal vector de transporte del mejillón cebra son las barcas, y de que la posibilidad de contaminar un lago que no esté previamente infectado con poblaciones procedentes de un lago infectado depende del número de botes y de la distancia que haya entre ambos lagos. El modelo se basó en encuestas realizadas en 13 embarcaderos del Lago Michigan y en 55 lagos de Illinois. El número de barcas variaba desde las 192 por año del lago con menor intensidad de navegación hasta los 29.997. Además, se calcularon las distancias entre lagos con un sistema de información geográfica. La probabilidad de contacto entre dos lagos a través de las

barcas, y por tanto del transporte del mejillón cebra, se relaciona con las posibilidades de que una misma barca sea usada en los dos lagos y con la distancia entre ellos. En realidad se trata de un modelo de atracción entre dos puntos similar al gravitacional de Newton, donde la fuerza de atracción entre dos lagos es proporcional al producto de sus masas (barcas) y dividido por el cuadrado de su distancia. Se describe también una variable (α) relativa a la posibilidad de realizar viajes largos o cortos, de forma que un valor alto de α indica que hay poco contacto entre lagos alejados y un valor bajo, que la distancia entre lagos no afecta de forma importante la posibilidad de contacto. Por ejemplo, para un $\alpha = 1$, un bote tiene 5 veces más posibilidades de visitar un lago alejado 20 millas que uno alejado 100 millas, mientras que para un $\alpha = 5$, las posibilidades de visitar un lago próximo son 625 veces más. Si el lago de origen no está infectado por el mejillón cebra, la probabilidad de transporte de la especie es obviamente 0, mientras que en caso de que sí lo esté, la probabilidad es de 0,01. En este segundo caso, la probabilidad de que la población de mejillón se establezca en el nuevo lago dependerá del número de botes que hagan ese circuito. De este modo se confecciona una matriz de datos con la cual se evalúa el riesgo relativo de contaminación entre lagos y ríos de Illinois. Ya que una vez establecida la plaga las larvas pueden desplazarse incluso en ausencia de barcas, un nuevo parámetro (d) describe la distancia que la población se puede desplazar aguas abajo en un año (dependiendo de los días de desarrollo de las larvas y de la velocidad de la corriente). El modelo establecía una jerarquía entre los lagos y ríos según el interés de sus poblaciones de náyades (como podría hacerse según su valor ambiental o sensibilidad de las infraestructuras susceptibles de verse afectadas). De este modo se podían predecir las posibilidades de contaminación de los diferentes lagos y ríos según su importancia para las náyades así como qué lagos podían tener mayor interés en mantenerse sin infectar porque de ellos dependía en mayor medida la posibilidad de contaminación de otros. Los resultados dieron que el mayor riesgo de contaminación estaba en la cuenca del Río Fox, donde, entre todas las aguas del interior de Illinois estudiadas, apareció la plaga en primer lugar.

Se trata sin duda de un sistema de trabajo muy interesante que puede ayudar a priorizar dónde aplicar con mayor o menor intensidad las tareas de prevención, control y eliminación de la plaga.

3.2.5. Estudio del potencial de transmisión del mejillón cebra a través del meridiano 100 (EEUU) (Britton & McMahon, 2005)

Se trata de una iniciativa llevada a cabo por autoridades federales, regionales, tribus y agencias locales norteamericanas para evitar la contaminación de las aguas dulces al oeste del meridiano 100. Se realizaron entrevistas en todos los Estados al oeste y atravesados por dicho meridiano, para conocer el origen y destino de las barcas. Se consideraron potencialmente peligrosas aquéllas que visitaban aguas dentro de los 40 km alrededor de áreas ya infectadas. De este modo, se identificaron los lagos o ríos donde mayor era la probabilidad de recibir embarcaciones provenientes de aguas infectadas. A continuación, se identificaron las carreteras en las cuales al menos 500 botes viajaron entre los años 1998 y 2002 procedentes de aguas contaminadas. Finalmente, con esta información se seleccionaron los lagos y ríos así como carreteras donde realizar los mayores esfuerzos de 1- educación entre los usuarios y 2- prevención utilizando métodos de inspección y limpieza de barcas.

3.2.6. Modelo de asignación de recursos para prevención de la plaga del mejillón cebra versus *control*, riesgos aceptables de invasión y consecuencias económicas (Leung, Lodge, Finnoff, Shogren, Lewis & Lamberti, 2002)

Aborda el análisis de riesgo desde un punto de vista interdisciplinar: ecológico, económico y matemático. Los dos primeros parámetros definen el riesgo de las especies invasoras (si se pueden establecer en nuevos ecosistemas, si pueden causar daño, recursos necesarios para prevenir daños), mientras que el tercero aporta las técnicas que permiten el análisis más riguroso posible. Según este modelo, en un lago con una central energética, el gasto para prevenir con posibilidades de éxito la invasión del mejillón cebra (fundamentalmente en educación y control de la navegación) debería ser de 324.000 dólares al año, mientras que en el año 2001 el gasto que hizo US Fish and Wildlife Service para el manejo de todas las especies invasoras en todos los lagos norteamericanos fue de 825.000 dólares.

3.3. Sistemas de control y lucha.

3.3.1. Acciones directas

El conocimiento del comportamiento y del ciclo de vida de *D. polymorpha*, así como de la problemática que ha originado la plaga en otras zonas, es fundamental para diseñar la estrategia y las tácticas a utilizar en su control. Entre los métodos físicos de eliminación

están la filtración del agua, limpiezas mecánicas, alta velocidad de flujo de agua, choque térmico y uso de pinturas “antifouling”. En fase de investigación hay otros métodos como microfiltración, luz ultravioleta, corrientes electrolíticas, protección catódica, energía acústica y compuestos orgánicos. El método más utilizado hasta ahora es el uso de químicos, especialmente el cloro. No obstante, en cada caso las soluciones pueden ser diferentes dependiendo de factores generalmente relacionados con el tipo de sistema en el que se quiere actuar, por ejemplo si se quieren retirar los adultos de forma mecánica o actuar sobre éstos y sobre las larvas con agentes químicos.

Para evitar que la contaminación se produzca a través de embarcaciones, uno de los vectores más importantes, es recomendable fumigar con molusquicidas las barcas y motores que han navegado por zonas infestadas antes de que se trasladen a zonas no afectadas. Especial atención hay que tener con el agua de las sentinas de las barcas, artes de pesca y vegetación enredada en las hélices. También pueden utilizarse sistemas de limpieza a presión de las barcas. En todos estos casos, es necesario controlar el destino final de los sobrantes de agua. El uso del mejillón cebra como cebo para pesca debe prohibirse expresamente. Cualquier vía de introducción artificial del mejillón cebra en un ecosistema o zona libre de su presencia debe ser eliminada. Dado que no es tarea fácil decidir la estrategia a seguir, la consulta de guías o documentos elaborados en otros países donde la especie es ya un problema común, como las de Sprecher & Getsinger (2000) o Claudi & Mackie (1994) puede ser de gran utilidad. Según Álvarez y Araujo (2001), que publican uno de los pocos artículos divulgativos existentes sobre esta plaga en castellano y resumen gran parte de la información conocida hasta el momento, la aplicación del método de control tiene que tener en cuenta varios factores:

- 1.- Su capacidad de eliminar todas las fases de la especie, desde la larva al adulto.
- 2.- Su inocuidad frente a otros organismos y el medio ambiente.
- 3.- Su rentabilidad económica.

Como ya se dijo, una vez establecida la plaga en un ecosistema es prácticamente imposible su erradicación, pero sí podemos actuar en sistemas cerrados alimentados por esas aguas, como depósitos, balsas o circuitos de agua. La obstrucción de las conducciones hidráulicas se puede evitar manteniendo revisiones periódicas y aplicando métodos mecánicos, químicos o térmicos de eliminación de los racimos de mejillón cebra. En el caso de depósitos y balsas se ha usado fundamentalmente el cloro, tratamiento común en la desinfección del agua, temperaturas elevadas y molusquicidas. Antes de emplear cualquiera

de estos sistemas, se requiere conocer previamente su toxicidad frente a otros organismos acuáticos así como su inocuidad en caso de que se trate de aguas para consumo humano. En el caso de tuberías o conducciones infectadas, Jin (1992) recomienda la utilización de bombas de vacío para reducir la presión del aire una vez se han dejado las colonias en seco; de esta forma los ejemplares mueren en 3 días frente a los 7 días que se mantienen vivos a presión atmosférica.

En caso de utilizar métodos químicos, hay que tener en cuenta que al ser animales filtradores, los mejillones pueden cerrar las valvas cuando detectan toxinas o venenos en el agua y permanecer cerrados hasta tres semanas, por lo que pueden ser resistentes a ciertos biocidas. Por ejemplo, en el caso del cloro, el sistema más ampliamente utilizado, los tratamientos prolongados para asegurar su efecto producen trihalometanos tóxicos al reaccionar con la materia orgánica del agua. Según Rajagopal, Van del Velde, Van der Gaag & Jenner (2003), un aporte continuo de cloro a concentración de 1mg/l produce un 100% de mortalidad en 588 horas, mientras que un aporte intermitente durante el mismo tiempo no produce ningún efecto. Es también muy importante tener en cuenta si se quiere actuar contra una población ya establecida (aplicando medidas reactivas) o si se trata de prevenir una posible invasión (medidas proactivas), por ejemplo para prevenir la fijación de las larvas a las superficies.

Recientemente (Aldridge, Elliot & Moggridge, 2006) se ha desarrollado un nuevo método de control denominado BioBullet (Bala Biológica) que consiste en la aplicación de cloruro potásico (ClK). Esta sal, inerte a bajas dosis para la mayoría de los organismos, es muy tóxica para los bivalvos de agua dulce por la baja concentración que tienen en sus fluidos corporales. La novedad reside en que al estar encapsulado el principio activo en partículas microscópicas comestibles, el mejillón las ingiere, disolviéndose la cápsula y liberando el ClK. De este modo la cantidad de ingrediente que se añade al agua es menor. Las partículas están además diseñadas para que la cápsula se disuelva en unas pocas horas, evitando el riesgo de polución de los ecosistemas. Se han observado buenos resultados experimentales utilizando dosis de 300 mg/l de ClK durante 12 horas.

Álvarez y Araujo (2001) resumen las distintas estrategias a aplicar frente a la invasión en sistemas cerrados y conducciones artificiales, similares a las expuestas en el caso práctico 3.2.2.:

- Al final de la época de reproducción: dirigida contra los mejillones adultos. Aplicación del producto durante un período suficiente para que no queden adultos al final de la época de

reproducción. Recomendado en sistemas que admitan un cierto nivel de infestación. Un tratamiento continuado para matar al 100% de la población es impracticable.

- Periódica: dirigido de forma regular y periódica contra los mejillones adultos. Se recomienda cuando las densidades de población no son muy elevadas. No persigue una mortandad total de la población.
- Pulsos continuos/intermitentes: dirigido contra las larvas para prevenir la infestación. La proporción de producto a utilizar es menor al tratarse de fases más susceptibles, por ello, no es útil contra la fase adulta. Recomendado para sistemas limpios que no toleren la fijación de la especie.
- Continuo contra las fases larvarias. Recomendado en sistemas que no toleran la fijación de la especie. Se pueden utilizar bajas concentraciones del producto pero de forma constante. Puede ser también efectivo contra poblaciones de adultos.

Si se trata de sistemas cerrados con recirculación de agua, la proporción del producto a utilizar será siempre menor. Existen otras alternativas dependiendo del sistema o servicio de agua del que se trate:

- Tratamiento en bruto: se añade el producto al depósito de entrada o a la conducción principal de agua.
- Tratamiento total: se añade el producto de forma que circule junto con el agua por todo el sistema.
- Tratamiento previo: se aplica en un depósito previo donde se almacena el agua del sistema antes de su circulación.
- Tratamiento dirigido: se aplica solamente a determinadas zonas del sistema, como partes de un sistema múltiple.
- Tratamientos de recirculación: se aplica en el depósito de entrada, se aísla, impidiendo la entrada de nueva agua, y se hace circular por el sistema.

Claudi & Mackie (1994, en Darrigran y Damborenea, 2006) revisan las principales ventajas e inconvenientes de los posibles productos químicos de control y eliminación del mejillón cebrado:

1. Químicos no oxidantes:

- Salinidad. Aunque muy eficaz contra larvas y adultos, no puede aplicarse en todas las instalaciones.

- Sales de potasio. Económico, aplicable en sistemas cerrados y altamente tóxico tanto para bivalvos como para otros organismos.
- Nitrato de amonio. Económico, aplicable en sistemas cerrados, efectivo a determinadas concentraciones pero no más que otros molusquicidas.

2. Químicos oxidantes:

- Permanganato de potasio. Se usa como alguicida, probablemente efectivo contra el mejillón cebra.
- Peróxido de hidrógeno. Caro y menos efectivo que el cloro, previene el asentamiento de las larvas. Se usa en plantas purificadoras de agua.
- Brominas. Se desconocen las concentraciones y mecanismos de aplicación. Menos tóxico que el cloro para otros organismos, muy efectivo a pH mayor de 8.
- Ozono. Alto coste de equipo y mantenimiento, dificultad de aplicación pero buena capacidad de disipación (sin residuo) y alta capacidad contra el biofouling.
- Cloraminas. Efectivo contra fases larvarias, no producen trihalometanos y se usan como desinfectante en plantas potabilizadoras. Elevado coste para sistemas de aguas en movimiento, se requieren altas concentraciones y no presenta ventajas frente a otros agentes oxidantes.
- Dióxido de cloro. Requiere equipos especializados y es más caro y complicado de usar que el cloro. Parece efectivo y no produce trihalometanos.
- Cloro. Produce trihalometanos al mezclarse con la materia orgánica. Efectividad demostrada, aplicable en casi todos los sistemas, tóxico a bajas concentraciones, no es bioacumulable, residuo oxidante fácil de medir, coste asumible y simple de utilizar.

También se está estudiando, y se han desarrollado, pinturas antiincrustantes (“antifouling”) (Caprari, 2006) como las utilizadas habitualmente en embarcaciones marinas, para el recubrimiento de depósitos y tuberías y así evitar la proliferación del biofouling. La aplicación de estas pinturas debe provocar alguna de las siguientes situaciones: repelencia (el organismo diana debe ser repelido), mortalidad prefijación (el organismo puede sufrir alteraciones que no le permitan fijarse) y/o mortalidad postfijación (tras la fijación, muere en alguna etapa de la transformación a adulto). Los componentes de las pinturas pueden ser: biocidas, repelentes que se van liberando progresivamente o sustancias que basan su acción en disminuir la energía superficial del sustrato impidiendo la adhesión de las sustancias que

los mejillones segregan para fijarse. Generalmente suelen estar elaboradas por mezclas de distintos componentes:

1. Pigmentos activos inorgánicos: óxido cuproso (quizá el biocida más comúnmente usado en ambientes marinos. Su solubilidad varía enormemente con la temperatura y el pH), sulfocianuro cuproso, naftenato de cobre, resinato de cobre, sulfuro de cobre, cobre metálico laminar, polvo de bronce, polvo de cinc esférico y laminar y óxido de cinc.

2. Pigmentos metálicos: polvos de cobre, cinc y aluminio.

3. Pigmentos activos orgánicos: actualmente se ha desestimado el uso del óxido de tributil estaño (TBTO) y del fluoruro de tributil estaño (TBTF) por los efectos demostrados sobre la sexualidad y ciclos vitales de animales vertebrados e invertebrados. Está bastante difundido el uso de izotiazolonas agregadas a las pinturas de óxido cuproso.

Para elaborar estas pinturas, los pigmentos van unidos a un ligante, que puede ser soluble (resinas que controlan la velocidad de disolución del biocida, generalmente resina de pino) o fijo (permanecen en la película aún cuando ésta se agota, resinas vinílicas, de caucho clorado, caucho estirenado, etc). La acción de estas pinturas se explica por la existencia de una concentración de biocida más alta en la zona laminar externa que se va separando por difusión, mientras que en el interior de la película el biocida se va difundiendo hacia la superficie. La cantidad de biocida que se disuelve en una pintura en un determinado tiempo se llama grado de lixiviación.

Otros sistemas todavía en fase de experimentación y sobre los que sería necesario seguir investigando son los recubrimientos a base de fluoporímeros y siliconas para crear superficies que sean incompatibles con el material adhesivo generado por los mejillones, el desarrollo de productos antiincrustantes naturales, o el uso de ondas de ultrasonidos, corrientes eléctricas o protección catódica.

Para controlar pequeños volúmenes de agua, por ejemplo en casas de campo o urbanizaciones, Mackie (1999b) y Crosbie (1999) indican que la plaga puede aparecer cuando el nivel de calcio del agua está entre 20 y 25 mg/l, el pH es mayor que 8 y la temperatura asciende de 15-18°C durante más de 20 ó 30 días, y recomiendan fundamentalmente el uso de filtros de muy poca luz de malla (35 µm). También recuerdan que con velocidades superiores a 1,5-2 m/seg no suele haber fijación de juveniles.

3.3.2. Establecimiento de una estrategia nacional de control y prevención

Aunque se trata de un tema que por su extensión quedaría fuera de los objetivos de este informe, el éxito en el control del mejillón cebra en la Península Ibérica no sería en absoluto posible si no se estableciera una estrategia general con al menos las siguientes premisas:

- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de hábitat naturales susceptibles de padecer la plaga y elaboración de protocolos de actuación dependiendo del caso.
- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de infraestructuras susceptibles de padecer la plaga con cuantificación económica de daños y elaboración de protocolos de actuación dependiendo del caso.
- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de actividades que puedan actuar como vectores de la plaga en nuestro país y elaboración de protocolos de actuación dependiendo del caso. Debería incluir una relación de todos los embalses donde se desarrollan certámenes de pesca deportiva con las fechas de celebración y una relación de todos los trasvases y conexiones intercuenas conocidos.
- Establecimiento de normas preventivas de navegación y pesca deportiva.
- Puesta en marcha de líneas de investigación sobre sistemas de eliminación de la plaga en grandes infraestructuras.
- Puesta en marcha de líneas de investigación sobre sistemas de esterilización sencillos de embarcaciones y material de pesca.
- Puesta en marcha de líneas de investigación sobre pinturas “antifouling” efectivas en aguas dulces.
- Puesta en marcha de líneas de investigación sobre biología y ecología del mejillón cebra en las cuencas españolas.
- Puesta en marcha de líneas de investigación sobre sistemas de ingeniería genética para controlar y/o erradicar la plaga.
- Racionalización del uso y manejo de las aguas dulces.
- Educación de la sociedad en el tema del mejillón cebra.

Estas premisas, controladas a nivel nacional, podrían coordinarse bien a nivel de cuenca hidrográfica bien a nivel de cada Comunidad Autónoma y serían fruto de la colaboración de equipos multidisciplinares. Conviene recordar los casos prácticos del punto 3.2. en los que se describen iniciativas realistas y efectivas, así como las posibilidades de que una invasión

no tenga éxito (punto 1.4. de este informe), y por tanto pensar que modificando ciertas actitudes heredadas, y aplicando serias medidas de prevención, existe la posibilidad de evitar la plaga.

3.3.3. Concienciación social

La concienciación de toda la sociedad, así como la coordinación entre todos los actores implicados en este grave problema económico-ambiental es absolutamente necesaria para afrontarlo. Autoridades ambientales e hidráulicas, pescadores, regantes y otros colectivos deber ser conscientes de la gravedad del problema y trabajar juntos en pro de su solución (ver punto 3.2.). Una sociedad informada será siempre el método de control más efectivo ya que evitará en lo posible el actuar como vector de propagación, fenómeno que probablemente ha ocurrido en numerosas ocasiones simplemente por ignorancia. Una frase necesaria para recordar en este caso es que un gramo de prevención es siempre más efectivo que un kilogramo de acción.

Es recomendable poner en marcha una estrategia para informar a la población y poner los medios para evitar una más rápida propagación de la especie así como para llevar a cabo un exhaustivo control de la navegación (puntos 3.2.4., 3.2.5. y 3.2.6.) de todo tipo en aguas continentales (ríos, canales, embalses, lagos y lagunas) y del uso de cebos vivos para pesca. La limpieza de barcas, motores, cabos, botas y demás material deportivo debe recomendarse y facilitarse en todos los lugares donde existan embarcaderos, puertos deportivos, gasolineras, etc. La prohibición de la navegación en embalses contaminados con la plaga puede ser una medida de prevención importante para evitar la contaminación de otras cuencas por parte de las embarcaciones, aunque también puede traducirse en un desplazamiento de las barcas hacia embalses con mayor peligro potencial de contaminación (Schneider, Ellis & Cummings, 1997).

Además, deben distribuirse y difundirse trípticos, pegatinas, vídeos y todo tipo de material informativo sobre la plaga y crear centros de alerta y control con teléfonos de emergencia. También en centros de investigación y otros organismos en los que se trabaje con muestras de agua, debe alertarse y poner en marcha sistemas de evacuación de los sobrantes que impidan la contaminación de las aguas de uso general.

4. LA POSIBLE AFECCIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA A LOS SISTEMAS DE RIEGO VALENCIANOS

4.1. Consideraciones generales

No se ha encontrado en la bibliografía consultada ningún caso específico de afección de la plaga del mejillón cebra en sistemas de regadío, quizá porque en los países que hasta ahora han sido invadidos no existe una agricultura tan desarrollada, con infinidad de canales y pequeñas derivaciones de agua, como la que desde hace siglos se ha desarrollado en España. La construcción de canales derivados de ríos, embalses y otras masas de agua fue una práctica iniciada en tiempos muy remotos tanto en Europa, por ejemplo la Acequia Real del Júcar en el Siglo XII, el Canal Imperial de Aragón en tiempos de Carlos I, o el Canal du Midi en Francia en el Siglo XVII, como en EEUU, por ejemplo el canal de la Bahía de Plymouth a Green Harbour en Massachussets, quizá el primero de todo el continente, (Hadfield, 1986, en Mills, Chrisman & Holeck, 1999) o el amplio sistema de canales que interconectaron los Grandes Lagos a partir del Siglo XVIII. La función inicial de estos canales era el transporte de mercancías y maderas, así como abrir caminos que permitieran la colonización de nuevas áreas y la protección y huida en tiempos de guerra. No mucho más tarde, algunos de estos canales y otros nuevos, ramificándose en innumerables acequias y pequeños ramales, se utilizaron para el riego de los campos agrícolas, con mayor preponderancia en los países donde la lluvia no era abundante, que progresivamente fueron salpicando todo el paisaje. De este modo, las barreras naturales que anteriormente impedían la dispersión de los organismos de agua dulce desaparecieron gracias a la vasta red de canales que conectaron gran parte de las diferentes cuencas hidrográficas.

En cuanto al mejillón cebra, es ya algo asumido que para colonizar los EEUU utilizó como primer vector el agua de lastre de los barcos euroasiáticos, pero para su posterior distribución por el continente, el vector secundario fue y está siendo los canales. Estos canales han sido también los vectores para la dispersión de muchas otras especies exóticas (desde peces a moluscos, macrófitos y pequeñas algas) y fueron probablemente también fundamentales en la distribución de *D. polymorpha* por toda Europa.

4.2. Los sistemas de riego valencianos

Todo lo dicho nos indica claramente que las obras realizadas para distribuir el agua de riego (y por supuesto también el agua de boca y de usos industriales) desde los embalses de origen, están seriamente comprometidas en la posible expansión del mejillón cebra por todas las zonas donde dicha agua se distribuya. El carácter generalmente telescópico de estos sistemas de reparto, especialmente en el caso del riego (desde las tomas originales más anchas a los últimos conductos más estrechos), y la necesidad de almacenamientos de agua por azudes o balsas, hace que el problema se multiplique a lo largo de todo el sistema si las fuentes de origen están o van a ser contaminadas por el mejillón cebra.

En el caso que nos ocupa, el de los regadíos históricos valencianos y su modernización, en que las derivaciones originales de agua están construidas hace años, es difícil aplicar el principio de prevención, por lo que los esfuerzos han de conducirse en otras direcciones, fundamentalmente poner en marcha programas que analicen el riesgo de los posibles impactos económicos y ecológicos derivados de la proliferación del mejillón cebra así como el control y la posible eliminación de la especie en las zonas de toma y/o almacenamiento de agua de la que parten los sistemas de regadío. Para empezar sería interesante establecer una estrategia a nivel local similar a la esbozada en el punto 3.3.2. con las siguientes actuaciones:

- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de hábitat naturales susceptibles de padecer la plaga y elaborar los protocolos de actuación dependiendo de cada caso.
- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de infraestructuras susceptibles de padecer la plaga (ver más abajo) con cuantificación económica de daños y elaborar los protocolos de actuación dependiendo de cada caso.
- Disponer de una relación pormenorizada y jerarquizada de actividades que puedan actuar como vectores de la plaga en las cuencas de Levante y elaborar los protocolos de actuación dependiendo del caso. Por ejemplo, prohibir la navegación en los embalses ya contaminados, o al menos obligar a esterilizar las barcas y caudales que de ellos salgan.
- Elaborar protocolos de actuación (métodos físicos, químicos) en cada tipo de infraestructura invadida o susceptible de verse invadida por la plaga.
- Establecer un sistema de vigilancia de todos los embalses de las cuencas levantinas.

- Realizar campañas de sensibilización de la sociedad (regantes, pescadores y otros colectivos).

La historia ya conocida de invasiones y problemas producidos por el mejillón cebra en otras partes del mundo es en principio la mejor guía para predecir las consecuencias de una invasión en un nuevo ambiente. El impacto que produzca, dependerá, entre otros factores, de las características del nuevo ecosistema (Ricciardi, 2003), por eso es difícil hacer generalizaciones. No obstante sí nos debe servir para revelar patrones predictivos a las diferentes escalas. De esta forma, antes de una invasión, puede predecirse qué hábitat sufrirán mayor impacto y cuales deben ser objeto prioritario de acción. Una vez se hayan diagnosticado los hábitat (en el caso de cambios en el ecosistema) o las infraestructuras susceptibles de verse afectadas, se hace necesario cuantificarlas (pérdidas económicas por imposibilidad de uso, gastos en mantenimiento, subvenciones, etc).

La cuenca del Río Mijares, al estar ya contaminado el embalse de Sitjar, puede servir como modelo para ver cómo se van afectando las diferentes infraestructuras de riego (acequias, sifones, compuertas,...), hasta dónde llega la dispersión de las larvas, la instalación de ejemplares adultos y qué protocolos son más apropiados en cada caso. Esta información será básica a la hora de poder cuantificar los gastos o pérdidas económicas esperados.

Igualmente se pueden poner en marcha planes de prevención ante futuras obras de modernización. Es importante tener en cuenta que los gastos que probablemente serán necesarios para eliminar los impactos de la plaga en las infraestructuras existentes (acequias, tajaderas, compuertas, filtros, conexiones, tuberías, bombeos, ...), siempre serán mayores que los empleados en prevención así como más complicados de llevar a cabo. También es necesario asumir que este problema se agudiza cuando las derivaciones pongan en contacto cuencas hidrográficas diferentes, como en los casos de los trasvases Tajo-Segura o Xúquer-Turria, ya que todo esfuerzo es poco a la hora de evitar la diseminación de la plaga a nuevas cuencas. Cada sistema es un caso distinto y aunque se puedan aportar medidas de uso general, se debe estudiar cada cuenca, microcuenca o sistema de regadío por separado, y afrontar el problema según las características propias de cada uno.

Un riesgo añadido en el caso de estos sistemas de riego son los trabajos de mantenimiento de los canales, acequias e infraestructuras, dado que la disminución del flujo del agua, del nivel y las épocas en las que el agua permanece parada, así como el movimiento de

maquinaria pesada y trasvases de agua puntuales, pueden facilitar el establecimiento de colonias del mejillón en el sistema.

Hay que partir de la base de que la gran proliferación de embalses y azudes en los ríos valencianos, especialmente el Xúquer, y el previsible aumento futuro de infraestructuras para incrementar la capacidad de almacenamiento de agua (balsas, sistemas de elevación,...), unidos a la presencia de la especie invasora *D. polymorpha* en la Península Ibérica, mejora ostensiblemente las condiciones para el establecimiento de la plaga, por lo que se trata de cuencas en la que prevención y control de la misma tienen que ser protagonistas.

Como ya se ha dicho, no parece existir ningún caso documentado específico sobre la afección de la plaga del mejillón cebra en sistemas de regadío. Para desarrollar este capítulo se han estudiado con detalle dos documentos: Marco, Mateu y Romero (1994) y Generalitat Valenciana (2000?), de donde se ha extraído la información de las infraestructuras y actuaciones en cada uno de los sistemas de regadío valencianos que pueden verse afectadas por la plaga. En general estas infraestructuras y los trabajos que se desarrollen para su construcción o remodelación, ordenadas en el sentido de circulación del agua, se pueden agrupar en:

1. Embalses para almacenamiento de agua de los que derivan los sistemas de riego. Son el origen principal del problema si están contaminados ya que actúan como fuente permanente de larvas que ingresarán en todo el sistema de riego correspondiente.
2. Azudes de derivación de agua para acequias de riego. Al igual que los embalses, son zonas de remanso donde pueden instalarse las poblaciones de mejillón cebra y actuar como fuente permanente de larvas.
3. Balsas de riego. Son también zonas remansadas de agua donde pueden instalarse las poblaciones de mejillón cebra y actuar como fuente de larvas. Especial atención a los bombeos de elevación que son fácilmente inutilizados por la plaga.
4. Pozos y bombeos. Aunque con menor probabilidad, los acuíferos también podrían contaminarse, bien de forma natural, bien por aguas de retorno. No obstante, dependerá del tipo de acuífero, siendo más susceptibles los que presenten lagunas y cuevas donde los niveles de oxígeno disuelto sean mayores. Los sistemas de bombeo

de agua son muy sensibles a la plaga, que los inutiliza colmatando los motores y filtros.

5. Acequias principales. Cuando el agua que discurre está contaminada, la plaga puede instalarse e inutilizar las tajaderas y compuertas de paso. El control y limpieza puede dificultarse mucho en los tramos cubiertos o en túnel. Pese a que el agua se corte algunas semanas al año, las colonias de mejillón cebrado podrían mantenerse en zonas que queden con agua o humedad, reproduciéndose el siguiente año.
6. Compuertas y desagües. Pueden quedar fácilmente inutilizados por el crecimiento de las colonias del mejillón.
7. Red secundaria y terciaria. Hay que suponer que la parte más susceptible de sufrir impactos serios son los circuitos primarios, que mantienen el agua durante todo el año, ya que la red secundaria y terciaria suele permanecer en seco una vez terminado el riego, siendo menos probable que el mejillón cebrado se instale. No obstante, sí puede ser posible que en estas acequias y brazales, tanto revestidos como naturales, se depositen las conchas y/o ejemplares muertos procedentes de otras partes del sistema. Sí puede haber afecciones importantes en las derivaciones de riego por goteo y aspersión, que al quedar permanentemente con agua pueden colmatarse e inutilizarse.

Los entubamientos de conducciones también pueden complicar la situación (por ejemplo por obstrucciones o taponamientos) al dificultar las labores de control y eliminación de la plaga.

8. Sifones. Son también zonas sensibles y de difícil manejo a la hora de actuar contra la plaga. Su colmatación con mejillones puede inutilizar el resto del sistema.
9. Obras de mantenimiento de los sistemas de riego. Posibilidad de expansión de la plaga a través de maquinaria pesada y/o personal. Todas las obras de modernización y nuevas actuaciones pueden ser vectores de transmisión de la plaga.
10. Plantas depuradoras y sus sistema de distribución. Este tipo de instalaciones pueden ser un blanco ideal para la plaga. Dependiendo del tipo de depuradora, los problemas serán diferentes.
11. Sistemas de alcantarillado. También pueden verse afectados bien por vertidos “naturales” bien por aguas de retorno contaminados.

12. Industrias. Es uno de los principales problemas causados por la plaga ya que provocan enormes pérdidas cuando se alimentan con aguas contaminadas. Las afecciones serán diferentes según el tipo de industria.
13. Saltos eléctricos. Son también muy susceptibles de verse afectados. Es muy común la inutilización de los filtros y compuertas por el mejillón.
14. La Albufera de Valencia. La invasión de este ecosistema sería un grave problema ecológico que podría modificar sus condiciones de forma impredecible, probablemente con enormes cambios en la pesca. Las posibilidades de que el mejillón llegue dependerán del esfuerzo de prevención y control que se lleve a cabo en las aguas que la alimentan.

Quede claro que no se quiere asegurar que todas estas infraestructuras y actuaciones vayan a verse afectadas por la plaga, ya que no se dispone de datos sobre la calidad, velocidad, tiempos de almacenamiento de las aguas, etc. de estos sistemas de regadío. Sin embargo, en el presente documento se asume que todas las cuencas de los regadíos valencianos podrían ser invadidas por el mejillón cebra, aunque sería interesante estudiar si las condiciones físico-químicas de cada una lo permitirían. De este modo, se expone a continuación una relación, según Marco, Mateu y Romero (1994) y ordenada por cuencas hidrográficas, de las infraestructuras y actuaciones de los regadíos históricos valencianos susceptibles de sufrir afecciones por esta plaga, y sobre las que se recomienda realizar el mayor esfuerzo de prevención y control. Se trata de un paso preliminar para la obtención de la relación de infraestructuras y actividades sugeridas más arriba y en el punto 3.3.2. Esta información, unida a la que nos aporte el comportamiento de la plaga en la cuenca del Mijares, será de gran interés para elaborar la estrategia definitiva de acción.

Especial atención se recomienda durante las obras de restauración o mejora de las infraestructuras, siendo este un momento ideal para aplicar sistemas de prevención o control. Puede ocurrir que algunas de las nuevas obras que se mencionan en fase de planificación, como instalaciones de riegos localizados, reparaciones de azudes, sifones, etc., ya se hayan llevado a término, dado que el documento en el que se basa este capítulo tiene más de 10 años.

Regadíos del Millars

- Embalses de Arenós y Sitjar.
- Acequia de Vila-real: azud de Vila-real, sifones, compuertas, brazales, salto eléctrico de Iberdrola, balsas e instalaciones de presurización.
- Acequia de Castelló: azud de Santa Quiteria -Pantanet-, sifones, brazales, pozos, compuertas, refinería de petróleo, central térmica, depuradora, bombeos, instalación de presurización en el riego.
- Acequia de Almassora: azud de Santa Quiteria -Pantanet-, sifón, brazales, pozos, modernización de compuertas y desagües.
- Acequia de Borriana: azud de Santa Quiteria -Pantanet-, partidor, compuertas, brazales, sifón, motores de bombeo, pozos, instalaciones de presurización.
- Prolongación de la acequia de Nules y Mascarell: compuertas, brazales, pozos, creación de una balsa.

Las actuaciones de control de la plaga en esta cuenca son obligadas ya que el embalse de Sitjar está contaminado con el mejillón cebra. Especial cuidado hay que tener en evitar trasvases a otras cuencas.

Regadíos del Palància

- Embalse de Regajo.
- Acequia mayor de Sagunt: azud, brazales, sifón, pozos, compuertas, presa del Algar, balsas de regulación, planta siderúrgica, polígono industrial, papelera, depuradora, instalación de riegos localizados.

La naturaleza de los terrenos que cruza este sistema produce incrustaciones en los conductos que, de verse además invadidos por el mejillón, podrían provocar problemas muy graves de reducción de sección en las conducciones.

Regadíos del Turia

- Embalses de Benagéver, Loriguilla y Buseo.
- Acequia de Montcada: azud, sifón, brazales, pozos, construcción de una nueva presa de regulación, reformas del canal principal, pozos.

- Acequia de Quart-Bennager: azud, salto de Iberdrola, brazales, pozos y bombeos, construcción de un nuevo azud y canal, compuertas, depuradora, instalaciones de presurización y riegos localizados.
- Acequia de Tormos: azud, brazales, construcción de un nuevo azud.
- Acequia de Mislata: azud, sifón, ramales, red terciaria subterránea, factorías, incorporación de la red al alcantarillado y saneamiento, depuradora.
- Acequia de Mestalla: azud, Jardines del Real, red subterránea, compuertas, alcantarillado, depuradora, realización del plan para su extinción, pozos.
- Acequia de Rascanya: azud, sifones, canal cubierto, brazales, compuertas, alcantarillado, construcción de un nuevo azud y brazal.
- Acequia de Favara: azud, sifones, recorrido cubierto, brazales, fábricas y servicios, construcción de nueva acequia, depuradora, bombeos.
- Acequia de Rovella: azud, trazado cubierto, red de saneamiento, depuradora, bombeos.
- Acequias de los Pueblos Castillos: azudes, brazales, red de saneamiento, sifón, bombeos, factoría de IBM, reparaciones de los canales, regularización de los bombeos, instalaciones de presurizaciones y fertirrigación, construcción de depósitos y depuradoras.

Se recomienda controlar el aporte de agua del Xúquer a través del canal Xúquer-Turia para evitar contaminaciones en caso de que la especie se encontrara en el Xúquer.

Regadíos del Xúquer

- Embalses de Alarcón, Contreras, Forata, Cortes, Naranjero, La Muela, Tous y Escalona.
- Acequia Real del Xúquer: azud de Antella, sifones, derivaciones a otras acequias y “fesas” - Algolejes, Nova de Alzira y Dantell-, compuertas y derramadores, bombeos y motores, tramos en mina, industrias –Polígono de Almussafes-, construcción de balsas de regulación, renovación y construcción de nuevas de compuertas y renovación de sifones en el tramo principal y en las diferentes fesas, implantación de riego localizado.
- Real Acequia de Escalona: azud, brazales, motores y bombeos, fábricas y saltos eléctricos, renovación de las presas, construcción de nuevas balsas y bombeos, instalación de riegos localizados y fertirrigación, construcción de depuradoras.

- Real Acequia de Carcaixent: azud de Sumacàrcer, trazado en mina, sifones, particiones, brazales, motores, pozos, construcción de balsas y nuevos bombeos, reconstrucción del azud y sifón de Sallent.
- Valle de Carcer y Sallent: azud, partididor, acequias secundarias –Pla del Rei, Palmeral y Daudí-, tramos en túnel, sifones, bombeos, balsas, tuberías, cambios a fertirrigación, construcción de nuevos depósitos de regulación.
- Acequia de Sueca: azud, derivaciones a otras acequias –Mayor, Musquis y Campanar- y brazales, bombeos, compuertas, cambios a fertirrigación.
- Acequias de Cullera: azud de Fortaleny, casa de compuertas, derivaciones a otras acequias y brazales, tramos cubiertos, azud de la Marquesa, motor de Tomba y otros bombeos, movimientos de maquinaria pesada, instalación de riegos localizados con nuevos depósitos y redes de distribución, cambios en el azud de la Marquesa, instalación de nuevas compuertas y bombeos.
- Acequia de Quatre Pobles: azud de Sueca, brazales, juego de compuertas, motores y bombeos, industrias, instalación de fertirrigación con nuevas balsas y bombeos, mejora de compuertas y sistemas de elevación.

Atención a los sobrantes a otros ríos de la cuenca (Verd) y sobre todo, a La Albufera, donde la llegada de retornos de aguas contaminadas con la plaga pueden ocasionar la entrada del mejillón en este ecosistema.

Las tuberías, sifones, bombeos y balsas del trasvase Júcar-Vinalopó pueden quedar seriamente afectadas por la plaga. Este trasvase también sería susceptible de extender la plaga a otras cuencas, por lo que sería recomendable realizar un estudio previo de posibles afecciones.

Riegos del Albaida

- Embalse de Bellús.
- Acequias de la Vega de Xátiva: azudes del Albaida, Font dels Sants y Canyoles y sus respectivos partidores y acequias, brazales, pozos, tramos cubiertos, depuradoras, industria papelera, bombeos, instalación de riego localizado, posible construcción de una conducción de auxilio desde el Albaida a los riegos del Canyoles, nuevas regulaciones con construcción de nuevas balsas comunes o individuales, limpiezas y reparaciones de acequias y canales.

- Acequia Comuna de Enova: azud de la Torre d'En Lloris, pozos, sifones, tramos cubiertos y no visitables, instalación de una nueva depuradora, construcción de una nueva acequia, reparación del azud, creación de nuevos depósitos e instalación de riego localizado.

Regadíos del Serpis

- Embalse de Beniarrés.
- Acequias de la Huerta de Gandía: azudes de En Carrós y En March, partidores y compuertas, sistemas de aprovechamiento de aguas subterráneas, pozos, instalación de fertirrigación y riego localizado, renovación del utillaje

Al ser un sistema con fuerte pendiente quizá el problema en acequias y brazales no sea tan urgente.

Regadíos de la Vega Baja del Segura

- Traslase Tajo-Segura.
- Embalse de Crevillent.
- Acequia de Callosa: azud en el Segura, tramos de la red entubados, conducto del trasvase Tajo-Segura, motores de bombeo, campañas de renovación de utillaje y de entubamiento de la red terciaria.
- Acequias del Juzgado de Orihuela: azud de Las Norias, azud del Chorro y azud de Almoradí, acequias y brazales, motores y bombeos particulares, tramos cubiertos, azarbes, balsas de regulación e impulsiones entre ellas, compuertas, depuradora, propuesta de alimentación de los azudes desde los conductos del trasvase Tajo-Segura –embalse de La Pedrera-, posible entubamiento de la red terciaria e implante de riego localizado.
- Acequias del Azud de Alfeitami: embalse de Pedrera, azud de Alfeitami, acequias y brazales, tramos entubados, motores y bombeos, posible utilización de tuberías de baja presión y riegos localizados con regulación en cabecera creando nuevos depósitos.
- Pías Fundaciones: embalse de Crevillent, azarbes y acequias correspondientes, brazales secundarios entubados, propuesta de alimentación desde el trasvase Tajo-Segura, finalización del plan de entubamiento, presurización y paso a riego localizado.

- Acequias del Azud de Formentera: azudes de Formentera y Rojales, noria de Benijófar, acequias y brazales, tramos entubados, motores y pozos, planes de entubación, presurización y riego localizado con construcción de nuevos depósitos, propuesta de alimentación desde el trasvase Tajo-Segura.
- Acequias de Rojales y Guardamar: azud, acequias y azarbes, motores y bombeo de la antigua Noria Bernarda, tramos entubados, motores particulares, planes de entubamiento de la red terciaria, de limpieza de azarbes, de presurización de la red y paso a goteo con la consiguiente construcción de balsas, propuesta de alimentación desde el trasvase Tajo-Segura y Riegos de Levante.

En todo este sistema, dada la elevada salinidad del agua, lo primero que habría que saber es si estas condiciones tan extremas permitirían la instalación del mejillón cebra, máxime cuando en ocasiones se trata de aguas con repetidos usos (por ejemplo las acequias de Alfeitamí). Mientras tanto se tratan como un sistema de regadío susceptible de ser invadido. Otra particularidad de este sistema es su alimentación a través del trasvase Tajo-Segura, por lo que las posibilidades primarias de contaminación dependerían también de la cuenca del Tajo, siendo necesario controlar el embalse de donde sale el trasvase.

La diagnosis presentada en este capítulo, tiene que ser evaluada por especialistas en sistemas de regadío para decidir los mejores métodos de control y lucha entre los conocidos (punto 3.3.) así como las épocas más favorables para ponerlos en uso, lo que dependerá del ciclo vital de la especie y de las demandas exigidas por el riego. Igualmente, la investigación en el comportamiento futuro de la plaga en el Río Mijares y el conocimiento del ciclo de *D. polymorpha* en las cuencas levantinas, aportará la información sobre los meses de emisión de larvas así como otras circunstancias que puedan ser de interés a la hora de diseñar las estrategias específicas a aplicar en cada cuenca y sistema.

Para terminar, es interesante recordar que llevando a cabo iniciativas realistas y efectivas de prevención frente a la plaga, modificando ciertas actitudes heredadas en el manejo hidrológico, y sabiendo que son también muchas las posibilidades de que una invasión no tenga éxito, la posibilidad de evitar la plaga puede ser una realidad.

5. REFERENCIAS

Aldridge, D., Elliot, P. & Moggridge, G. D. 2006. Microencapsulated BioBullets for the control of biofouling zebra mussels. *Environmental and Science Technology*, 40: 975-979.

Álvarez, R. y Araujo, R. Naturaleza Aragonesa. 2001. El mejillón cebra en el Ebro: Un grave caso de riesgo ambiental en Aragón. *Naturaleza Aragonesa*, 8: 39-46.

Araujo, R., Gómez, I. & Valladolid, M. 2007 (en prensa). Life cycle and density of a newcomer population of zebra mussel in the Ebro River, Spain. In: *Zebra Mussels in Europe*. G. Van der Velde, S. Rajagopal and A. Bij de Vaate Eds. En prensa.

Britton, D. K. & McMahon, R. F. 2005. Análisis of trailered boat traffic and the potential westward spread of zebra mussels across the 100th meridian. *American Malacological Bulletin*, 20: 147-159.

Caprari, J. J. 2006. Pinturas antiincrustantes. En: Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 181-211.

Clarke, M., McMahon, R. F., Miller, A. C. & Payne, B. S. 1993. Tissue freezing points and time for complete mortality on exposure to freezing air temperatures in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) with special reference to dewatering during freezing conditions as a mitigation strategy. In: J. L. Tsou & Y. G. Mussalli (Eds.), Proceedings: *Third International Zebra Mussel Conference, 1993, Toronto, Ontario*. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, Publ. No. TR-102077, pp. 4-119 – 4-145.

Claudi, R. & Mackie, G. L. 1994. *Practical manual for zebra mussel monitoring and control*. Lewis Publishers, Boca Raton, 227 pp.

Darrigran, G. & Damborenea, C. (Eds.) 2006. *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 218 pp.

Crosbie, B. 1999. An investigation into the ability of six different products to prevent zebra mussels from infesting a small volume water system. In: *Zebra mussel biofouling control in cottage and other small volume water systems*. The Georgian Bay Association, Toronto, Notario, 23 pp.

Darrigran, G. & Damborenea, C. 2006. Aspectos generales vinculados a la prevención y control. En: *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 153-165.

Davids, C. & Kraak, M. H. S. 1993. Trematode parasites of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 749-759.

Escot, C., Basanta, A., Cobo, F. y González, M. A. 2003. Sobre la presencia de *Mytilopsis leucophaeta* (Conrad, 1831) (Bivalvia, Dreissenacea, Dreissenidae) en el río Guadalquivir (sur de la Península Ibérica). *Graellsia*, 59(1): 91-94.

Gelembiuk, G. W., May, G. E. & Lee, C. E. 2006. Phylogeography and sistemáticas of zebra mussel and related species. *Molecular Ecology*, 15: 1033-1050.

Generalitat Valenciana. 2000?. *Modernización de los regadíos de la Acequia Real del Júcar*. Conselleria d'Agricultura, Peixca i Alimentació, 159 pp.

Griffiths, R. W. 1993. Effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on benthic fauna of Lake St. Clair. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 415-438.

Hadfield, C. 1986. *World Canals: Inland Navigation Past and Present*. David and Charles Publishers, Devon, Great Britain, 432 pp.

Hinz, W. & Schiel, H. G. 1972. Filtration rate of *Dreissena*, *Sphaerium* and *Pisidium* (Eulamellibranchiata). *Oecologia*, 11 45-54.

Kovalak, W. P., Longton, G. D. & Smithee, R. D. 1993. Infestation of power plant water systems by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas). En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, 359-380.

LePage, W. L. 1993. The impact of *Dreissena polymorpha* on waterworks operations at Monroe, Michigan: a case history. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, 333-358.

Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, D., Shogren, J. F. Lewis, M. A. & Lamberti, G. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk análisis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 269: 2407-2413.

Mackie, G. L. 1999a. Ballast water introductions of mollusca. 1999. En: Claudi, R. & Leach, J. H. *Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology, and Impacts*. Boca Raton, Florida, 219-254.

Mackie, G. L. 1999b. Some facts about zebra mussel and quagga mussels. In: Zebra mussel biofouling control in cottage and other small volume water systems. The Georgian Bay Association, Toronto, Ontario, 22 pp.

Mackie, G. L., Gibbons, W. N., Muncaster, B. W. & Gray, I. M. 1989. The zebra mussel *Dreissena polymorpha*: a synthesis of European experiences and a preview for North America. *Report prepared for Water Resources Branch, Great Lakes Section*. Available from Queen's Printer for Ontario, ISBN 0-7729-5647-2.

Marco, J. B., Mateu, J. F. y Romero, J. 1994. *Regadíos históricos valencianos. Propuestas de rehabilitación*. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació, 159 pp.

Mills, E. L., Chrisman, J. R. & Holeck, K. T. 1999. The role of canals in the spread of nonindigenous species in North America. En: Claudi, R. & Leach, J. H. *Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology, and Impacts*. Boca Raton, Florida, 347-379.

McMahon, R. F., Ussery, T. A., Miller, A. C. & Payne, B. S. 1993. Thermal tolerance in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) relative to rate of temperature increase and acclimation temperature. In: J. L. Tsou & Y. G. Mussalli (Eds.), *Proceedings: Third International Zebra Mussel Conference, 1993, Toronto, Ontario. Electric Power Research Institute*, Palo Alto, CA, Publ. No. TR-102077, pp. 4-98 – 4-118.

May, G. E., Gelembiuk, G. W., Panov, V. E., Orlova, M. I. & Lee, C. E. 2006. Molecular ecology of zebra mussel invasions. *Molecular Ecology*, 15: 1021-1031.

Ministerio de Medio Ambiente. 2001. *Localización y evaluación de una nueva invasión biológica: el mejillón cebra (Dreissena polymorpha) en el Ebro*. Dirección General para la conservación de la naturaleza. 84 pp.

Ministerio de Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Júcar. 2005. *Nota de Prensa. La Confederación Hidrográfica del Júcar actúa de forma inmediata y toma las primeras medidas tras la detección del mejillón cebra en el embalse de Sihar*.

Minns, C. K. & Cooley, J. M. 1999. Intentional introductions: are the incalculable risk worth it? En: Claudi, R. & Leach, J. H. *Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology, and Impacts*. Boca Raton, Florida, 57-59.

Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. 1993. (Eds). *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, FL. 810 pp.

Neumann D, Borcharding J, Jantz B. 1993. Growth and seasonal reproduction of *Dreissena polymorpha* in the Rhine River and adjacent waters, 95-109 pp. In: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 95-109.

Nichols SJ. 1996. Variations in the reproductive cycle of *Dreissena polymorpha* in Europe, Russia, and North America. *American Zoologist*, 36: 311-325.

OTA 1993. *Harmful non-indigenous species in the United States*. Office of Technology Assessment, US Government Printing Office, Washington DC.

Padilla, D. K. 2005. The potential of zebra mussel as a model for invasion ecology. *American Malacological Bulletin*, 20: 123-131.

Peribañez, M. A., Elrío, M. L., Gracia, M. J., Fernández de Luco, D., Castillo, J. A., Lucientes, J. y Cía, I. 2006. Phyllodistomum folium (Trematoda: Gorgoderidae) infecting zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) in the Ebro River, Spain. *Parasitology International*, 55: 143-145.

Rajagopal, S., Van del Velde, G., Van der Gaga, M. & Jenner, H. A. 2003. How effective is intermittent chlorination to control adult mussel fouling in cooling water systems? *Water Research*, 37: 329-338.

Reeders, H. H., bij de Vaate, A. & Noordhuis, R. 1999. Potential of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) for water quality management. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, 439-451.

Rehmann, C. R., Stoeckel, J. A. & Schneider, D. W. 2003. Effect of turbulence on the mortality of zebra mussel veligers. *Canadian Journal of Zoology*, 81: 1063-1069.

Ricciardi, A. 2003. Predicting the impacts of an introduced species from its invasion history: an empirical approach applied to zebra mussel invasions. *Freshwater Biology*, 48: 972-981.

Ricciardi, A., Neves, R. J. & Rasmussen, J. B. 1998. Impending extinctions of North American freshwater mussels (Unionoida) following the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) invasion. *Journal of Animal Ecology* 67: 613-619.

Schloesser, D. W., Nalepa, T. F. & Mackie, G. L. 1996. Zebra mussel infestation of Unionid bivalves (Unionidae) in North America. *American Zoologist*, 36: 300-310.

Schneider, D. W., Ellis, C. D. & Cummings, K. S. 1997. A transportation model assessment of the risk to native mussel communities from zebra mussel spread. *Conservation Biology*, 12(4): 788-800.

Smit, H., bij de Vaate, A., Reeders, H. H., van Nes, E. H. & Noordhuis, R. 1993. Colonization, ecology, and positive aspects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Netherlands. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 55-77.

Stoeckel, J. A., Rehmann, C. R., Schneider, D. W. & Padilla, D. K. 2004. Retention and suplí of zebra mussel larvae in a large river system: importance of an upstream lake. *Freshwater Biology*, 49: 919-930.

Sprecher, S. L. & Getsinger, K. D. 2000. *Zebra mussel chemical control guide*. ERDC/EL TR-00-1, U. S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 104 pp.

Stanczykowska, A., Lodzimier, L., Mattice, J. & Lewandowski, S. K. 1976. Bivalves as a factor effecting circulation of matter in Lake Mikolajskie (Poland). *Limnologia*, 19: 347-352.

Strayer, D. L. & Smith, L. C. 1993. Distribution of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in estuaries and brackish waters. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 715-727.

Summers, R. B., Thorp, J. H., Alexander, J. E. & Fell, R. D. 1996. Respiratory adjustment of dreissenid mussels (*Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis*) in response to chronic turbidity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 1626-1631.

Strayer, D. L. 1999. Effects of alien species on freshwater molluscs in North America. *Journal of the North American Benthological Society*, 18(1): 74-98.

Thorp, J. H., Alexander, J. E. & Cobbs, G. A. 2002. Coping with warmer, large rivers: a field experiment on potential range expansion of northern quagga mussels (*Dreissena bugensis*). *Freshwater Biology*, 47: 1779-1790.

Vinogradov, G. A., Smirnova, N. F., Sokolov, V. A. & Bruznitsky, A. A. 1993. Influence of chemical composition of the water on the mollusc *Dreissena polymorpha*. En: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W. (eds) *Zebra Mussel biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, pp 283-293.

Waltz, N. 1978. The energy balance of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in laboratory experiments and in Lake Constance. I. Pattern of activity, feeding, and assimilation efficiency. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement*, 55: 83-105.

Wright, D. G. & Franzin, W. G. 1999. The Garrison diversion and the interbasin biota transfer issue: case study. En: Claudi, R. & Leach, J. H. *Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology, and Impacts*. Boca Raton, Florida, 381-392.

Madrid, 6 de Noviembre de 2006
Rafael Araujo Armero
Museo Nacional de Ciencias Naturales
C/ José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid