

METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF ZEBRA MUSSEL CONTROL TECHNOLOGIES FOR INDUSTRIAL WATER CONDUCTION SYSTEMS

Vigil Berrocal, Miguel Ángel; Álvarez Cabal, José Valeriano; Martínez Huerta, Gemma;
Luiña Fernández, Rocio

Universidad de Oviedo

The Zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, is an invasive fresh water mollusc that causes several problems to industrial premises both in Europe and North America. Such bivalve is highly harmful because of its high reproductive potential, its ability to spread in fresh water courses, and mainly because of the capacity of their young individuals to grow on top of the shells of older zebra mussels, resulting in giant colonies that promote corrosion and can clog all kinds of industrial equipment such as pipework, trash racks, pumping stations and even closed circuits of cooling towers. This paper will critically review in a systematic manner the available technologies for Zebra mussel control, analyzing both their range of use as well as the optimal conditions for their use. Next, a generic methodology for the selection of the most suitable technology, or combination of control technologies informed by the previous analysis is proposed in order to support the Zebra mussel control strategy to be taken by the premises managers.

Keywords: *Maintenance; Invasive Species; Water*

METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE CONTROL DEL MEJILLÓN CEBRA EN CONDUCCIONES DE AGUA INDUSTRIALES

El Mejillón Cebra, *Dreissena polymorpha*, es un molusco invasivo de agua dulce que causa numerosos problemas en instalaciones industriales tanto en Europa como en Norte América. Dicho bivalvo puede ser altamente perjudicial debido a sus altísimas tasas reproductivas, la facilidad de difusión en el medio acuático por parte de su estado larvario, y especialmente por la capacidad de sus juvenales de crecer sobre la concha de ejemplares de mayor edad creando colonias gigantes, que potencian los procesos corrosivos y causan el taponamiento de toda clase de material industrial como tuberías, barras de filtrado, estaciones de bombeo e incluso circuitos cerrados de torres de refrigeración. Esta comunicación realiza un estudio crítico y sistemático de las tecnologías de control del Mejillón Cebra actualmente disponibles, llevando a cabo un análisis de los rangos de utilización de éstas así como de las condiciones óptimas para su utilización. A partir de dicho análisis, se propone una metodología genérica de selección de la técnica o la combinación de técnicas más apropiadas que podría ser aplicada a un caso concreto con objeto de facilitar su uso por parte de responsables de instalaciones industriales.

Palabras clave: *Mantenimiento; Especies invasivas; Agua*

Correspondencia: ETSIMO. c/Independencia 13. C.P. 33004. Oviedo (Asturias)

1. Introducción

El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) es un molusco bivalvo de agua dulce originario de los mares Negro, Caspio y Aral en el este del continente europeo. Estos mejillones se caracterizan por la rapidez con que colonizan nuevas zonas debido a que tanto en su estado larvario como adulto pueden ser transportados por las corrientes, o también pegados a otros organismos, cascos de barcos, equipos de buceo y cualquier otro vector de transmisión desde un cuerpo acuático infectado a otro. Suelen vivir entre 3 y 5 años y alcanzan su madurez sexual tras uno o dos años (Ludyanskiy et al. 1993) produciendo cada hembra aproximadamente 30,000 huevos por cada ciclo reproductivo, lo que representa más de un millón de huevos a lo largo de todo el periodo de desove (Moser, 2002). Los mejillones cebra se establecen en cualquier sustrato duro incluyendo rocas, tuberías, barcos, plantas acuáticas e incluso es frecuente que los ejemplares jóvenes crezcan sobre ejemplares más viejos o muertos resultando en colonias gigantes (Ram et al. 1996). Dicha alta tasa reproductiva unida a un amplio rango de condiciones (temperatura, salinidad, pH, turbidez,...) generan que esta especie tenga un gran éxito colonizando muy diversos ecosistemas, lo que la ha llevado a aparecer en el catálogo de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo, publicado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Lowee et al. 2000). Es ilustrativo el hecho de que en 1988 se produjo el primer avistamiento de este molusco en los Estados Unidos y para 1991 ya había alcanzado los 5 Grandes Lagos, los Lagos Finger en Nueva York y la cuenca del río Mississippi. Actualmente ya ha llegado hasta el Caribe y se encuentra en expansión en Europa y Asia. En España ya ha colonizado el Río Ebro y se ha detectado su presencia en las cuencas del Júcar y Segura.

El mejillón cebra se alimenta por filtración del agua que se encuentra en sus inmediaciones lo que provoca reducciones en la densidad planctónica del agua limitando el alimento de peces autóctonos, reduce la densidad y productividad biológica de otros moluscos autóctonos, insectos e invertebrados, e incluso grandes colonias se instalan en zonas de desove de peces rivereños limitando su capacidad de reproducción. Además de los daños a los ecosistemas acuáticos, su presencia ocasiona cuantiosos daños económicos dado que al pegarse a toda clase de superficie rígida obstruyen y taponen toda clase de infraestructuras de distribución de agua como tuberías, válvulas, pantallas, rejillas, estaciones de bombeo, etc.

Uno de los casos concretos de perjuicio ocasionado por este molusco es la obstrucción de los sistemas de captación de agua que la industria pesada utiliza para la refrigeración de sus procesos. La configuración típica de muchas de estas instalaciones de refrigeración se caracteriza por disponer de un sistema abierto sin recirculación, en el que se captan grandes volúmenes de agua que al pasar por una torre de refrigeración recibe el calor cedido por el proceso para volver al curso de agua un poco más caliente (once-through cooling en inglés). La presencia de colonias de mejillón cebra limita, y si no se pone remedio impide, el abastecimiento de fluido de refrigeración a la planta ocasionando pérdidas de eficiencia en los procesos, mayores emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero y vertidos de agua a elevada temperatura a los cursos naturales de agua que causan severos perjuicios ecológicos y sanciones económicas a la industria emisora.

El método de control del *Dreissena polymorpha* más habitual en la industria es la clorinación, que consiste en inyectar ion cloro en las conducciones de agua infectadas para causar la muerte del molusco. Sin embargo, dicha técnica conlleva numerosos perjuicios al medio ambiente y su efectividad es limitada salvo que se utilice durante prolongados periodos de tiempo, potenciando sus efectos perniciosos en el entorno. Dichas desventajas están llevando a legislaciones más estrictas en cuanto a las concentraciones máximas que pueden ser vertidas a los cursos de agua, llegándose en ocasiones a prácticamente impedir su uso. Como consecuencia, las organizaciones afectadas se han visto forzadas a intentar

desarrollar nuevas tecnologías que o bien sustituyan al cloro o que al menos permitan optimizar su uso.

Las tecnologías actualmente disponibles se encuentran en diversos estados de desarrollo que en ocasiones aun no permiten su utilización a nivel industrial. Por otro lado, su aplicabilidad y eficiencia están limitadas a determinados rangos o pueden ser incompatibles con los materiales y la tecnología presente en la planta y, además, generalmente la solución adecuada pasa por una combinación de dos o más tecnologías. Por estas razones, la selección de las tecnologías a utilizar para combatir la presencia de mejillones cebra en conducciones de agua industriales es un asunto complejo que requiere el estudio en detalle de numerosos aspectos.

Esta comunicación pretende atajar el problema de la selección de tecnologías de control del mejillón cebra proponiendo un Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) que asista a los responsables de planta en la selección de la o las tecnologías más adecuadas para las conducciones de agua en instalaciones industriales.

Se procederá al estudio de las tecnologías de control del mejillón cebra actualmente disponibles, limitándose al estudio de las ya desarrolladas a nivel industrial, y se confrontarán con los condicionantes que limitan su aplicación. Después, dichas técnicas se categorizarán en base a criterios económicos, ambientales y de eficiencia para ser integrados en un SAD en formato flujograma.

2. Condicionantes para la aplicación de tecnologías de control del mejillón cebra

La selección de las tecnologías de control debe seguir el principio de la mínima acción capaz de evitar los problemas derivados de la invasión de los moluscos. Antes de tomar ninguna decisión al respecto varios aspectos deben ser evaluados:

- Condiciones ambientales de la zona
- Restricciones legales y medioambientales
- Condicionantes del proceso industrial
- Condicionantes económicos

2.1 Condicionantes principales

La caracterización de los parámetros ambientales de la localización de la planta en relación con el desarrollo biológico del mejillón cebra es necesaria dada la gran influencia que tienen en la capacidad de los moluscos para reproducirse y crear colonias estables. Los parámetros físico-químicos del agua, especialmente pH y la concentración de calcio definen su viabilidad biológica. Tabla 1 categoriza dichos parámetros en función de su capacidad para facilitar el desarrollo del mejillón cebra:

Tabla 1: Caracterización del potencial biológico de las aguas para el desarrollo del *Dreissena polymorpha* (Claudi, 2010)

Parámetro	Ninguna posibilidad de supervivencia en adultos	Potencial bajo de desarrollo de las larvas	Potencial moderado de infestaciones molestas	Alto potencial de infestaciones masivas
Calcio (mg Ca/L)	<1, >100	1-5	5-10, 80-100	10-80
pH	<3.0, >10	3.0-5.0	5.0-7.0	7.0-9.0
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	<3, >350	3-18	18-35, 280-350	35-280
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	<3, >350	3-18	18-35, 280-350	35-280
Variables en cuanto a nutrientes				
Oxígeno disuelto mg/L (%sat)	<1 (>10%)	1-3 (10-20%)	3-6 (20-50%)	≥7 (>50%)
Clorofila-a (µg/L)	0-1, >25	1-2 or 20-25	8-20	2-8
Fósforo total (µg/L)	?	?	?	?
Nitrógeno total (µg/L)	?	?	?	?
Profundidad Secchi (m)	<1,>8	1-2, 6-8	4-6	2.0-4.0
Variables Físicas				
Temperatura, Media verano °C	<5, >40	5-15 or 32-40	16-26	26-32
Conductividad (µS/cm)	<30, >25,000	9,000-25,000	3,800-9,000	30-3,800
Total sólidos disueltos (mg/L)	<0, >17,000	6,000-17,000	2,500-6,000	20-2,500
Salinidad mg/L (ppt)	<0, >15	5-15	1-5	0-1
Turbidez (NTU)	>80	20-80	5-20	<3-6.5
Total de sólidos en suspensión (mg/L)	>96	28-96	8-28	<8

Por otro lado, el propio sistema de control del mejillón cebra puede ocasionar perjuicios severos al medio ambiente, especialmente relacionados con el vertido del agua de refrigeración retornado al curso de agua. Dichos vertidos se caracterizan fundamentalmente por dos efectos sobre el medio acuático receptor:

- Aumentos repentinos y artificiales de la temperatura del agua tienen efectos adversos sobre los sistemas acuáticos que deben ser evitados, luego los niveles de calor vertidos deben ser controlados.
- El uso de biocidas para el control del mejillón cebra conlleva el vertido de sustancias potencialmente negativas para la calidad de las aguas del medio receptor por lo que desde un punto de vista legal, cualquier producto que se utilice para la eliminación total o parcial de los moluscos debe ser aprobado por las autoridades pertinentes. Además, su concentración en las aguas de vertido está limitada, lo que se traduce en restricciones en la cantidad de biocida que puede ser usado en las canalizaciones afectadas y en ocasiones exige el tratamiento del efluente antes de ser vertido.

Los condicionantes económicos a tener en cuenta a la hora de definir una estrategia de control del *Dreissena* se resumen a continuación:

- Inversión para equipamientos, así como para su instalación y puesta en marcha
- Costes de mantenimiento, consumo energético y reparaciones de equipos
- Coste de productos químicos y otros consumibles
- Costes indirectos que pueden generarse debido a pérdidas en la eficiencia de la planta o a la necesidad de realizar paradas de mantenimiento.

Finalmente, la viabilidad y eficiencia de la tecnología debe analizarse desde un punto de vista técnico en función de las características del proceso y de la configuración de la planta. Por ejemplo, algunos biocidas pueden ser corrosivos para los materiales con que está construido el sistema de refrigeración, o podrían reaccionar con otros aditivos causando subproductos indeseados. Por otro lado, distintos métodos consiguen diferentes eficiencias que dependiendo de la severidad de la invasión podrían no ser aceptables para determinados casos. También, los parámetros biológicos del agua y la época del año en que se realiza el tratamiento determinan si el ataque debe ser dirigido contra ejemplares adultos o estados larvarios. Finalmente, la construcción de nuevas instalaciones permite un rango de opciones mayor, como el uso de materiales repelentes para las conducciones, u optimizar la velocidad del agua dentro del sistema. Sin embargo, estas soluciones podrían no ser viables para proyectos de reacondicionamiento de instalaciones existentes donde la configuración actual impide ciertos cambios o, en caso de hacerlos, resultarían en costes inabordables para el proyecto.

3. Tecnologías para el control del *Dreissena polymorpha*

En general, las técnicas disponibles de control del mejillón cebra se clasifican en tres grupos:

Métodos **proactivos**, que son aquellos encaminados a prevenir la invasión y generalmente son aplicados antes de que los moluscos aparezcan en la instalación. Se clasifican en 3 grupos:

- Barreras de entrada que incluyen las pantallas y filtros. También podrían incluirse en este grupo los sistemas de captación de agua por infiltración.
- Sistemas de recubrimiento, que incluyen tanto los materiales de construcción repelentes (cobre, latón y acero galvanizado), como las pinturas de recubrimiento y baños con la capacidad de repeler o de impedir la adhesión de los moluscos a las superficies tratadas. Destaca para su uso en Europa el Mexel 432 que en lugar de ser aplicado directamente a las superficies susceptibles de invasión es inyectado periódicamente al agua que circula en la conducción.
- Métodos físicos como la aplicación de luz ultravioleta o de pulsos electromagnéticos.

Los métodos **reactivos** son aquellos destinados a ser utilizados una vez la instalación ya ha sido invadida y se basan en principios mecánicos. Dentro de esta clasificación se encuentran los métodos manuales como el uso de cepillos metálicos, rascadores o chorros de alta presión.

El último grupo de medidas de control son los **sistemas híbridos**, que dependiendo de las circunstancias podrían ser utilizados como reactivos o como proactivos variando la intensidad o el momento de aplicación. Los tratamientos que se engloban en esta clasificación son los térmicos, los químicos y los biológicos.

- Los tratamientos térmicos se basan en mantener las conducciones infectadas a temperaturas por encima del rango de supervivencia del *Dreissena polymorpha*. Temperaturas superiores en varios grados a dicho rango durante cortos espacios de

tiempo tendrían un efecto reactivo mientras que exposiciones prolongadas a temperaturas inferiores tendría un efecto proactivo al impedir el establecimiento de colonias.

- Los tratamientos químicos son los más habituales actualmente en la industria. Al igual que para los térmicos, en función de la concentración y la duración aplicada tiene un efecto reactivo o proactivo. Estos tratamientos se dividen a su vez en *biocidas oxidantes* como la clorinación o la ozonificación, y los *no-oxidantes*, entre los que destaca el Generador de ion Cobre por su eficiencia molusquicida y baja carga medioambiental. Por otro lado, se han desarrollado numerosos métodos para *optimizar* su uso y minimizar su carga medioambiental entre los que destaca el conocido como Biobullet que es un sistema de microencapsulización de las moléculas de biocida que burla los receptores de los mejillones que hacen que cierren la concha en presencia de una sustancia tóxica aumentando su eficiencia hasta 20 veces.
- Los tratamientos biológicos son los más novedosos y se basan en la ingeniería genética. En 2012 Zequanox salió al mercado, y consiste en un producto basado en células muertas de una cepa bacteriana que está presente de manera natural en los lechos lacustres y rivereños que resulta tóxica para los mejillones del género *Dreissena* mientras que resulta inocuo para el resto de la fauna acuática.

La decisión de utilizar un tratamiento de forma proactiva o reactiva depende de factores económicos y técnicos. Por ejemplo, algunos autores sugieren que los procedimientos reactivos son adecuados para casos en los que se puede tolerar hasta un 1 año de proliferación de bivalvos en el sistema que sería eliminada con un tratamiento anual (Claudi and Mackie, 1994). Sin embargo, en casos en que el grado de obturación del sistema u otros problemas derivados como la disposición de las cáscaras muertas no fuesen aceptables, se debería optar por sistemas proactivos (Allen, 1994).

A continuación se muestran una selección de las tecnologías disponibles para el control del mejillón cebra. Con objeto de aligerar el contenido de esta comunicación, la información relativa a cada una de las tecnologías de control se muestra esquemáticamente en la Tabla 2 en un formato dirigido a facilitar la comprensión del SAD. Cada tratamiento incluye una o varias referencias con objeto de ser consultadas por el lector en caso de precisar información adicional.

Tabla 2: Tabla resumen de las tecnologías disponibles para el control del mejillón cebra

Tratamiento	Pros	Contras	Referencias
Arena/Filtración	No hay emisiones al agua	Costes altos. Disminuye el flujo de agua	(Lauria, 2009) (Claudi, 2010)
nfiltración	No hay emisiones al agua. Operativa barata	Alta inversión de capital. Imposible mantener altos caudales.	(Keillor, 1991)
Revestimientos y baños	Protección para superficies externas	Necesario reaplicar	(Boelman, 1997) (USBR, 2013)
Luz UV	No hay emisiones al agua	Alto coste operativo. Ineficiente	(EPRI, 1992) (Boelman, 1997)

Tratamiento	Pros	Contras	Referencias
Térmico	Eficiente. Flexible en uso. Permite la reutilización del calor residual de la planta.	Requiere alta inversión	(Harrington et al. 1997)(McMahon et al. 1995)
Pulsos de presión Sparker	No hay emisiones al agua.	Ineficiente	(Claudi, 2010) (Shaefer et al. 2010)
Agua alta presión/burbujeo pellets CO2	Eficiente	Caro. Sólo aplicable en zonas accesibles	(Wong, 1991)(Boelman, 1997)
Cloración	Eficiente. Bajo coste. En uso	Alta carga ambiental. Estrictas regulaciones sobre la descarga	(Boelman, 1997) (Claudi and Mackie, 1994) (Van Benschoten et al. 1993)
Ozono	Baja carga ambiental	Caro. Dificil aplicación en sistemas de circuito abierto	(IPCC, 2001) (Boelman, 1997)
Molusquicidas no oxidantes	Eficiente	Tecnología patentada. Requiere desactivación y autorización de vertido especial	(Boelman, 1997) (Sprecher and Getsinger, 2000)
Generador de iones cobre	Carga ambiental baja. Bajos costes de instalación	Requiere inversión de capital y la sustitución de ánodos periódicamente	(McMahon and Tsou 1990) (Claudi, 2010)
BioBullets	Bajo o nulo impacto mediambiental.. Puede utilizar el sistema de dosificación de cloro pre-existente		(Aldridge et al. 2006) (Costa et al. 2011)
Zequanox	Bajo o nulo impacto medioambiental..	No muy eficiente	(Molloy, 2002) (Zequanox, 2012)

4. Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) para la selección de tecnologías de control del mejillón cebra en proyectos industriales

Un sistema de lucha contra el mejillón cebra debe ser efectivo para el control del molusco, de bajo impacto medioambiental y a un coste razonable. Las decisiones deben seguir el principio de la mínima acción capaz de evitar los problemas derivados de la invasión del bivalvo. En general consta de un plan de monitorización adecuado y de medidas de control conformes con la situación de la planta en que se implementa.

El primer paso para la selección del sistema es la definición del nivel de riesgo, que *a priori* se realizará en base a la calidad biológica de las aguas de acuerdo a los criterios establecidos en la Tabla 1. Dicho nivel puede ser revisado *a posteriori* con datos empíricos de la instalación. De ese modo, se establecen las siguientes categorías de riesgo (Tabla 3):

Tabla 3: Categorías de riesgo de invasión del mejillón cebra

Calidad biológica	Nivel Riesgo
Ninguna posibilidad de supervivencia en adultos	1
Potencial bajo de desarrollo de las larvas	2
Potencial moderado de infestaciones molestas	3
Alto potencial de infestaciones masivas	4

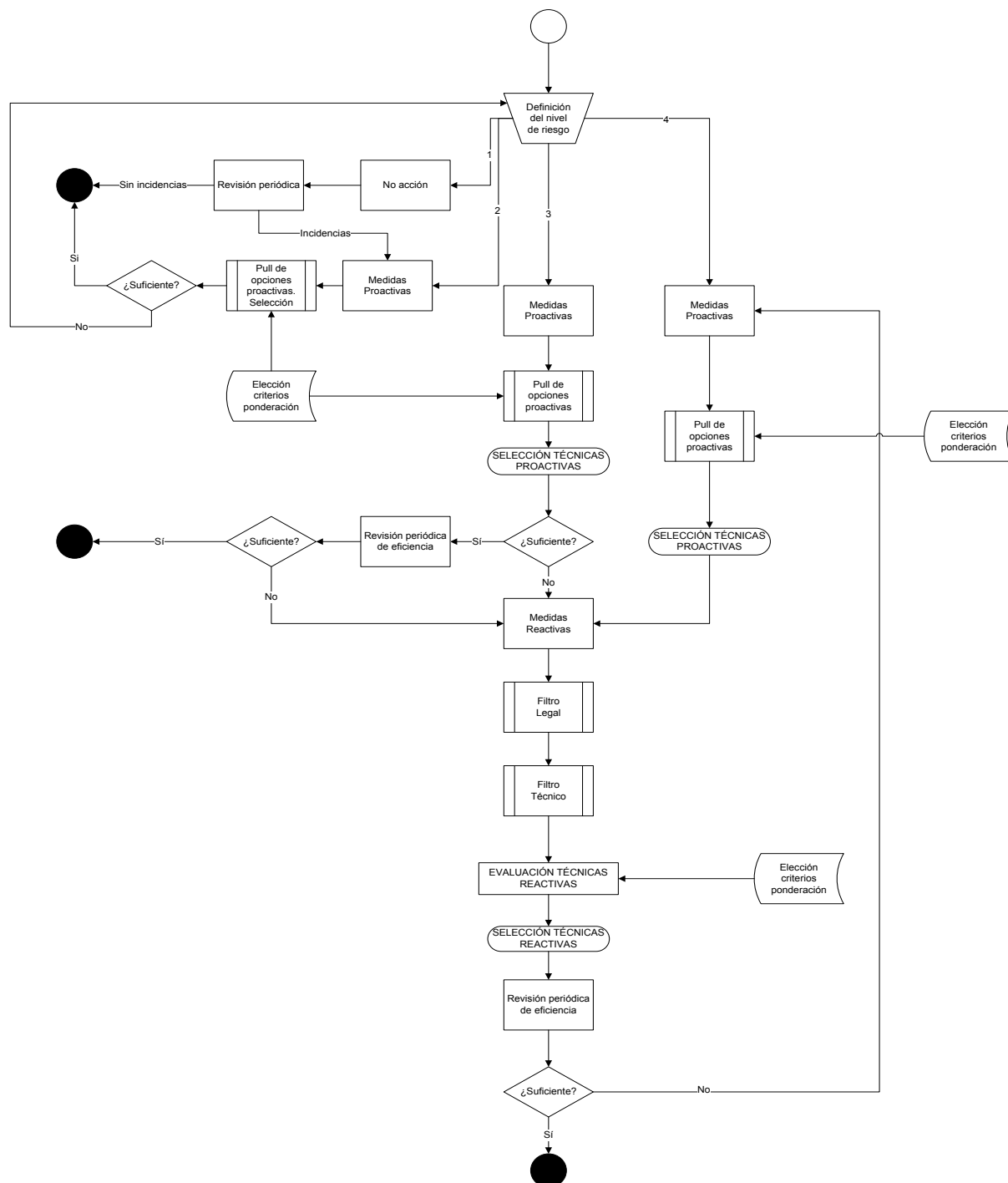
Cada nivel de riesgo conlleva una consideración diferente a la hora de seleccionar las técnicas más adecuadas. El nivel 1 es el más bajo en riesgo y no se espera la necesidad de tener que instalar ningún tipo de medida de control. Sin embargo, es recomendable establecer un calendario de revisiones periódicas para detectar posibles avistamientos del molusco que de darse el caso, la instalación pasaría a gestionarse como un nivel 2. Para dicho segundo nivel, se considera necesaria la inclusión de medidas proactivas de control del mejillón, las cuales serán determinadas para cada caso concreto en base a criterios ambientales, legales y económicos. Soluciones ingenieriles como la selección de materiales repelentes o caudales de diseño elevados son especialmente recomendables para nuevas instalaciones. Una vez implementadas dichas medidas se procederá una evaluación periódica de su eficiencia que en caso de resultar insatisfactoria obligará a la revisión del nivel de riesgo de la instalación.

El nivel 3 de riesgo sigue un procedimiento igual al 2 si bien en la mayoría de los casos es esperable la provisión de medidas reactivas tal y como se establece para los casos de nivel 4. Para los niveles más altos de riesgo se incluyen siempre medidas tanto proactivas como reactivas. Para la selección de estas últimas se procederá a un cribado de entre todas las opciones mostradas en la Tabla 2 que descartará las que no sean aplicables a nivel legal y las que no lo sean a nivel técnico. Una vez se tiene un catálogo de opciones viables, la selección se realizará en base a criterios ambientales, económicos y de eficiencia en la eliminación del molusco, cuya ponderación será determinada en función de la casuística de cada caso concreto. Por ejemplo, en los casos en que el grado de invasión sea muy severo se primará mayoritariamente la eficiencia del tratamiento, mientras que para otros menos afectados se equilibrarían las componentes económicas y medioambientales.

Finalmente, siguiendo la filosofía de la mejora continua y el círculo de Shewart o PDCA (Planifica, haz, comprueba y ajusta), se realizará una revisión periódica de la eficiencia de las medidas implementadas, que en caso de resultar insuficientes haría necesario que fuesen replanteadas de una manera integral, reajustando de nuevo tanto las medidas de carácter proactivo como las reactivas.

A continuación se muestra en formato flujograma el SAD propuesto para la selección de estrategias de control del mejillón cebra para conducciones industriales.

Figura 1: SAD para la selección de medidas de control del *Dreissena polymorpha*



5. Conclusiones

El *Dreissena polymorpha* se está convirtiendo en un problema creciente para la actividad industrial que necesita incorporar nuevas soluciones más allá de la tradicional clorinación por motivos ambientales y legales.

Una estrategia de control del molusco debe abordarse desde una perspectiva integral que se base en las características intrínsecas de la instalación y del medio en que se localiza con especial énfasis en la calidad biológica de las aguas para el desarrollo del bivalvo. Dado

que todas las soluciones actualmente disponibles presentan carencias en su eficiencia o desventajas de tipo ambiental o económico, es recomendable seguir un principio de mínima acción con la que se consiga el objetivo fijado del sistema. La eficacia del sistema debe ser sometida a monitorización periódica para asegurar que se evitan los problemas derivados de la presencia del molusco invasor, y en caso contrario redefinir la estrategia de combate.

Esta comunicación presenta los resultados del análisis crítico realizado de las tecnologías actualmente disponibles a nivel industrial, y las ha cualificado resaltando los pros y contras de cada una de ellas. Dicha información informa el diseño de un Sistema de Ayuda a la Decisión en forma de flujograma que pretende asistir a los responsables de planta en la toma de decisiones para la implementación de un sistema de control del mejillón cebra. Este sistema proporciona una metodología a seguir durante dicha definición y su estructura lineal aporta un marco ampliable con objeto de cubrir situaciones más concretas.

6. Referencias

- Idridge, D. C., Elliott, P., & Moggridge, G. D. (2006). Microencapsulated BioBullets for the control of biofouling zebra mussels. *Environmental science & technology*, 40(3), 975–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16509345>
- Allen, S. (1994). Zebra mussel technical information report, (Bulletin No. 11-494c. 4 p). Calgon Corporation, Pittsburgh, PA.
- Boelman, S. F. & Fischenich, J. C. (1995). Update on floating plant components susceptible to zebra mussel infestations. Technical Note ZMR-2-17, Zebra Mussel Research Program, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Claudi, R. & Mackie G. L. (1994). Practical Manual for Zebra Mussel Monitoring and Control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Claudi, R. (2010). Overview of available control strategies for biofouling mussels in an industrial setting. Presentation retrieved from www.rntconsulting.net
- Costa, R., Aldridge, D. C., & Moggridge, G. D. (2011). Preparation and evaluation of biocide-loaded particles to control the biofouling zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2322–2329. doi:10.1016/j.cherd.2011.02.027
- Electric Power Research Institute. (1992). Zebra mussel monitoring and control guide. TR-101782. Pleasant Hill, CA.
- European Commission IPPC. (2001) Reference document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems.
- Fellers, B. D., Flock, E. L., & Conley, J. C. (1988). Bromine replaces chlorine in cooling-water treatment. *Power* 132(6), 15-20.
- Harrington, DK, Van Benschoten, JE, Jensen, JN, Lewis, DP & Neuhauser, EF. (1997). Combined use of heat and oxidants for controlling adult zebra mussels, *Water Research* 31(96).
- Holt, D. A., & Ryan, E. (1997). Chlorine dioxide adult zebra mussel eradication at the Dofasco Steel Mill. *Proceedings Seventh International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference*, New Orleans, January 28-31 (pp.59-67)
- Keillor, P. (1991) Sand filter intakes could safeguard vital water-supply systems from zebra mussels. *Great Lakes Sea Grant Network Publication*
- Lauria, J. (2009). Building a filter defense against zebra and quagga mussels. *Water Conditioning & Purification Magazine*. April
- Lowe S., Browne M., Boudjelas S., & De Poorter M. (2000) .100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12pp.

- First published as special lift-out in *Aliens* 12, December 2000. Updated and reprinted version: November 2004
- Ludyanskiy, M.L., McDonald D & Macneill D. (1993). Impact of the zebra mussel, a bivalve invader. *Bioscience*, 43(8): 533-544.
- Marrone Bio Innovations. Obtenido en Marzo de 2014, desde <http://www.marronebioinnovations.com/products/brand/zequanox/>
- McMahon, R. F., & Tsou, J. L. (1990). Impact of European zebra mussel infestation to the electric power industry. Annual Meeting, American Power Conference, Chicago, IL, April 1990 (pp.9).
- McMahon, R. F., & Ussery, T. A. (1995). Thermal tolerance of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) relative to rate of temperature increase and acclimation temperature. (Technical Report EL-95-10). U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Molloy, D. P. 2002. Biological control of zebra mussels. Proceedings of the Third California Conference on Biological Control. University of California, Davis. (pp. 86–94)
- Moser, F. C. (2002). Invasive Species in the Chesapeake Bay Watershed. Zebra Mussel Draft Management Plan. Workshop to Develop Regional Invasive Species Management Strategies, Final Report. Baltimore, Maryland.
- Ram, J. L., Fong P. P., & Garton D. W. (1996). Physiological aspects of zebra mussel reproduction: Maturation, spawning and fertilization. *Amer. Zool.* 36:326-338
- Schaefer, R, Claudi, & Grapperhaus, R. (2010). Control of zebra mussels using sparker pressure pulses. *American Water Works Association* (April), 113–122.
- Sprecher, S. L., & Getsinger, K. D. (2000). Zebra Mussel Chemical Control Guide Environmental Laboratory.
- Tsou, J., Coyle, J., Pall, S., Mussalli, Y., & Martin, P. (1995). Evaluation of the use of chlorine dioxide to control zebra mussels. Proceedings, Fifth International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Organisms Conference (461-473). Toronto, Canada.
- US Bureau of Reclamation USBR. (2013). Coatings for Mussel Control. Three Years of Laboratory and Field Testing.
- Van Benschoten J. E., Jensen J. N., Harrington D. K. & DeGirolamo D. (1995) Zebra mussel mortality with chlorine. *J. Am. War. Wks Assoc.* 87(5), 101-108.
- Wong, G. S. (1991). High-pressure water jetting and carbon dioxide pellet blasting. (Technical Note ZMR-2-04). Zebra Mussel Research Program, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.