

CAPÍTULO 10

ASPECTOS GENERALES VINCULADOS A LA PREVENCIÓN Y CONTROL

GUSTAVO DARRIGRAN¹ & CRISTINA DAMBORENEA¹

INTRODUCCIÓN

Desde la primera cita de la invasión del mejillón dorado en las costas de América del Sur, en el Río de la Plata, Argentina (Pastorino y otros, 1993), todavía se enfrenta al *macrofouling* (macro-incrustaciones) de agua dulce como un novedoso problema económico/ambiental para los sistemas hídricos dulciacuícolas de América del Sur. Este lamentable hecho tiene base en las políticas científicas de los países miembros del Mercosur, las que parecen estar subordinadas únicamente a las inestables políticas socio-económicas de cada uno de ellos.

Sobre esta base es posible esquematizar la forma en que se debería encarar éste problema (Figura 1) y diferenciar dos grandes módulos: Métodos de Prevención, Control y Difusión.

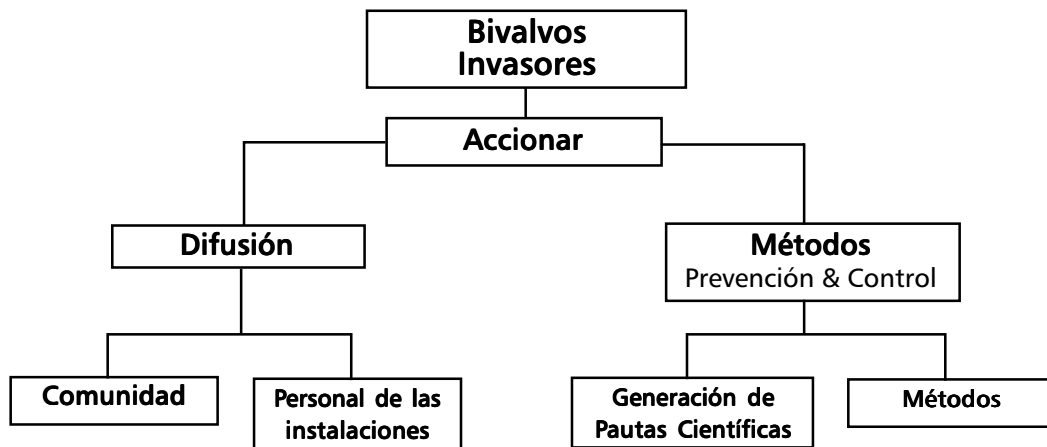


Figura 1. Diagrama de acción para controlar el *macrofouling* de agua dulce en la región.

¹ CONICET. Grupo Investigación sobre Moluscos Invasores / Plaga. División Zoología Invertebrados. FCNyM, UNLP. Paseo del Bosque, 1900 La Plata, Argentina. invasion@fcnym.unlp.edu.ar

MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

La forma de afrontar el problema es a través de las respuestas a una serie de preguntas simples. La primera de las cuales es *¿Invadirá el mejillón dorado la planta?* La respuesta, para todas las instalaciones que en forma directa tomen el agua de cuencas que estén ya invadidas por *Limnoperna fortunei*, es sencilla: **SI**. Es sólo cuestión de tiempo que lleguen ejemplares de mejillón dorado, o sus larvas, a las instalaciones y provoquen *fouling* (incrustación). Esta respuesta genera en forma instantánea una serie de preguntas: *¿Se debe actuar? ¿Qué estructuras se deben proteger? ¿Cómo proteger la planta?*

La respuesta a las dos primeras preguntas, dependerá del momento en que éstas se formulen; es decir, si:

(a) todavía no ha llegado el mejillón dorado a la planta, la estrategia de acción será de protección/prevenición;

(b) ya se ha detectado la presencia de ejemplares del mejillón dorado en la planta, la estrategia de acción será, entonces, de reacción/control, de acuerdo al grado de desarrollo de la población dentro de la planta en particular.

En estos casos, el especialista encargado del asesoramiento debe conocer una serie de datos básicos:

1. Estructura y funcionamiento de la planta a prevenir.
2. Biología del organismo en el ambiente en particular.
3. Distribución geográfica y capacidad de dispersión.
4. Qué problemas originó en las plantas de la región (para detalles en este último punto, consultar www.malacologia.com.ar), como así también una serie de acciones en forma simultánea de difusión para brindar información/asesoramiento a los profesionales y personal de la planta.

¿Qué estructuras de la planta debo proteger?

Para este primer ítem debemos conocer, como se esbozó anteriormente, los siguientes puntos:

Biología del mejillón dorado. Para este ítem, ver Capítulo 3.

Estructura de la planta. En este punto se realizará el análisis de situación, sobre la base de un esquema de una instalación hipotética que tiende a englobar todas las estructuras que existen en general, en todas las plantas que toman agua del ambiente natural (Figura 2). A partir de ésta, un no especialista en prevención y control de *macrofouling* de agua dulce, que sólo considere la estructura y funcionamiento de la planta y no la biología de la especie, puede plantearse que el hecho de evitar el asentamiento del mejillón dorado en el módulo I es innecesario, una pérdida de tiempo y de dinero para la empresa. Dos conjeturas generan esta errónea hipótesis:

1) Las estructuras de ingreso del agua al sistema (túneles, piletas, etc.) son de dimensiones tan grandes que nunca podrían ser ocluidas por el *macrofouling*.

2) El caudal y velocidad del agua es muy grande, por lo tanto las larvas que se generen en el interior de ese módulo I no podrían asentarse dentro del sistema, ya que permanecerían muy poco tiempo en él.

Por el contrario, este módulo I funciona como una "cámara de cultivo". Protegida de las inclemencias ambientales del ambiente externo al sistema, ésta es ideal para la fecundación, maduración y liberación de larvas (estadio de infestación que presenta la especie). Las larvas se generan, en ambientes de clima subtropical, de forma casi continua a lo largo del año (salvo los meses más fríos -junio y julio de cada año-). Cuanto mayor es la densidad acumulada de individuos aptos para reproducirse (es decir, todos aquellos ejemplares mayores a 5 mm) en las paredes de los sistemas del módulo I, mayor es la densidad de larvas generadas (Darrigran y otros, 2003). Estas larvas ingresan en forma casi continua al interior de los módulos II y III. Si éstas fueran arrastradas hasta el centro de la corriente de agua, en donde su velocidad es la mayor posible en el sistema, el tiempo de residencia de las larvas sería muy corto. Por el contrario, tanto el proceso de liberación de gametos, como el de fecundación y movimiento de las larvas en el ambiente, se realiza a corta distancia de la superficie de las paredes de las estructuras de ingreso del agua. La hidrodinámica de este lugar hace que la velocidad del agua sea casi nula cerca de dichas superficies (paredes de los túneles, ductos, etc.); por lo tanto, una importante parte de las larvas generadas en las paredes del módulo I, o "cámara de cría", se asentarán sobre las paredes del interior de los módulos II y III, aprovechando no sólo las bajas velocidades de las aguas lindantes a la pared del tubo, sino también la estructura del sistema, es decir, recodos, remansos, etc. Es en estos módulos (II y III), donde se encuentra todo el sistema de filtros e intercambiadores de calor fundamentales para el normal funcionamiento de la planta, el *macrofouling* parcial o total de sus paredes ocasionará alteraciones en la producción y, por lo tanto, una pérdida económica como resultado final.

La mayoría de las industrias tienen algunos sistemas comunes; por ejemplo, los sistemas de protección contra incendio y sistema de agua de servicios. Las estrategias de mitigación serían las mismas. Sin embargo, aún en estos sistemas existen diferencias particulares propios de cada uno de ellos; por ejemplo, en algunas

industrias el agua para protección contra incendios es tomada de un sistema separado de la que se nutre el agua de servicios. La estrategia de mitigación en cada uno de estos tipos es diferente; si bien hay estructuras comunes en muchas plantas, éstas pueden diferir. En las centrales hidroeléctricas y las plantas de tratamiento de agua, los sistemas pueden variar en los materiales de construcción de los distintos sectores (tubos de distintos metales, PVC, diámetros, etc.), como así también en su carácter de indispensabilidad (estructuras que involucran distintas magnitudes de pérdida en la producción al dejar de funcionar, como consecuencia del *macrofouling* o para la limpieza del mismo).

Para las estrategias de mitigación del *macrofouling*, además de considerar las condiciones climáticas propias del ambiente natural en que se encuentra la planta y del estado de las poblaciones naturales del mejillón en los alrededores y en la misma planta, se deben considerar las diferencias existentes en cada uno de los distintos sectores del sistema humano a tratar en particular. Es necesario tener en cuenta las distintas partes y funciones del sistema, sus elementos constitutivos; e.g. áreas con baja velocidad de flujo de agua, en especial a las menores de 1,5 m/seg, como así también a las cañerías de diámetro pequeños (7,5 cm).

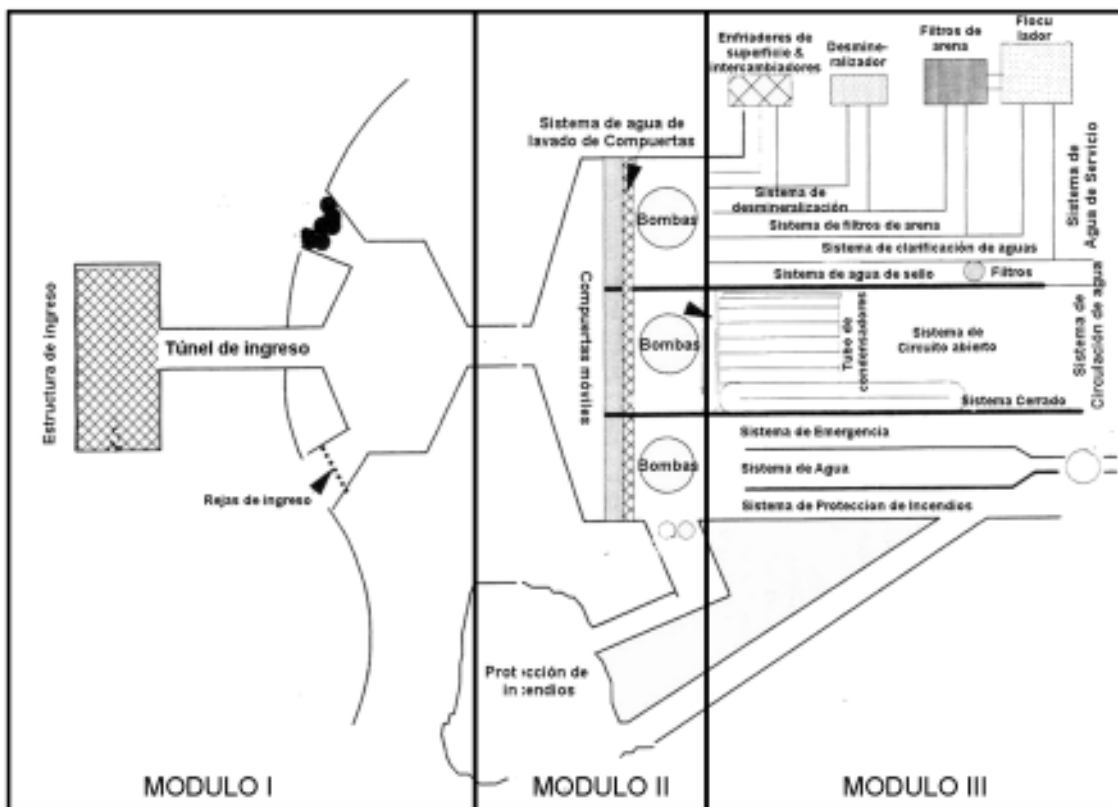


Figura 2. Esquema de una instalación hipotética en la cual se evidencian las estructuras presentes en general en todas las tomas de agua (modificado de Claudi & Mackie, 1994).

Problemas causados ya en la Región Neotropical

Estos pueden resumirse de la siguiente forma (Darrigran & Damborenea, 2005) (Lámina 1):

- 1.- Reducción de los diámetros de las cañerías.
- 2.- Bloqueo de cañerías.
- 3.- Decrecimiento de la velocidad del agua (esto se debe a que el sistema está diseñado para que corra el agua con un flujo laminar, pero la fijación de los mejillones a las paredes ocasionan un flujo turbulento; por lo tanto, para pasar la misma cantidad de agua, el intervalo de tiempo será mayor).
- 4.- Oclusión por acumulación de valvas vacías.
- 5.- Contaminación del agua del interior del sistema.
- 6.- Bloqueo de filtros.

¿Cómo proteger la planta?

La forma más eficiente, es decir, aquella que sea sustentable ambiental y económicamente, se busca desde hace mucho tiempo. Grandes volúmenes de agua pasan a través de los sistemas de enfriamientos de las

plantas generadoras de energía, de industrias, de plantas purificadoras, etc. Los tratamientos deben adaptarse a estas características como a otras señaladas en el ítem anterior. Algunos de estos tratamientos son de uso amplio o moderado; otros están siendo testados en algunos sitios. Muchos otros se encuentran en nivel de ensayos de laboratorio. Por lo tanto, la forma de enfrentar un novedoso problema económico/ambiental, como el tratado en este libro, es a partir de la aplicación simultánea de dos métodos de tratamiento (Figura 3). Uno es el que comúnmente se denomina *vía rápida*. Este consiste en eliminar velozmente del sistema al *macrofouling* aunque el método a utilizar no sea sustentable, pero permite el normal funcionamiento de la planta afectada en forma veloz. La vía rápida más efectiva es la aplicación de químicos, siendo el cloro el oxidante más utilizado a nivel mundial debido a su menor impacto ambiental y costo.

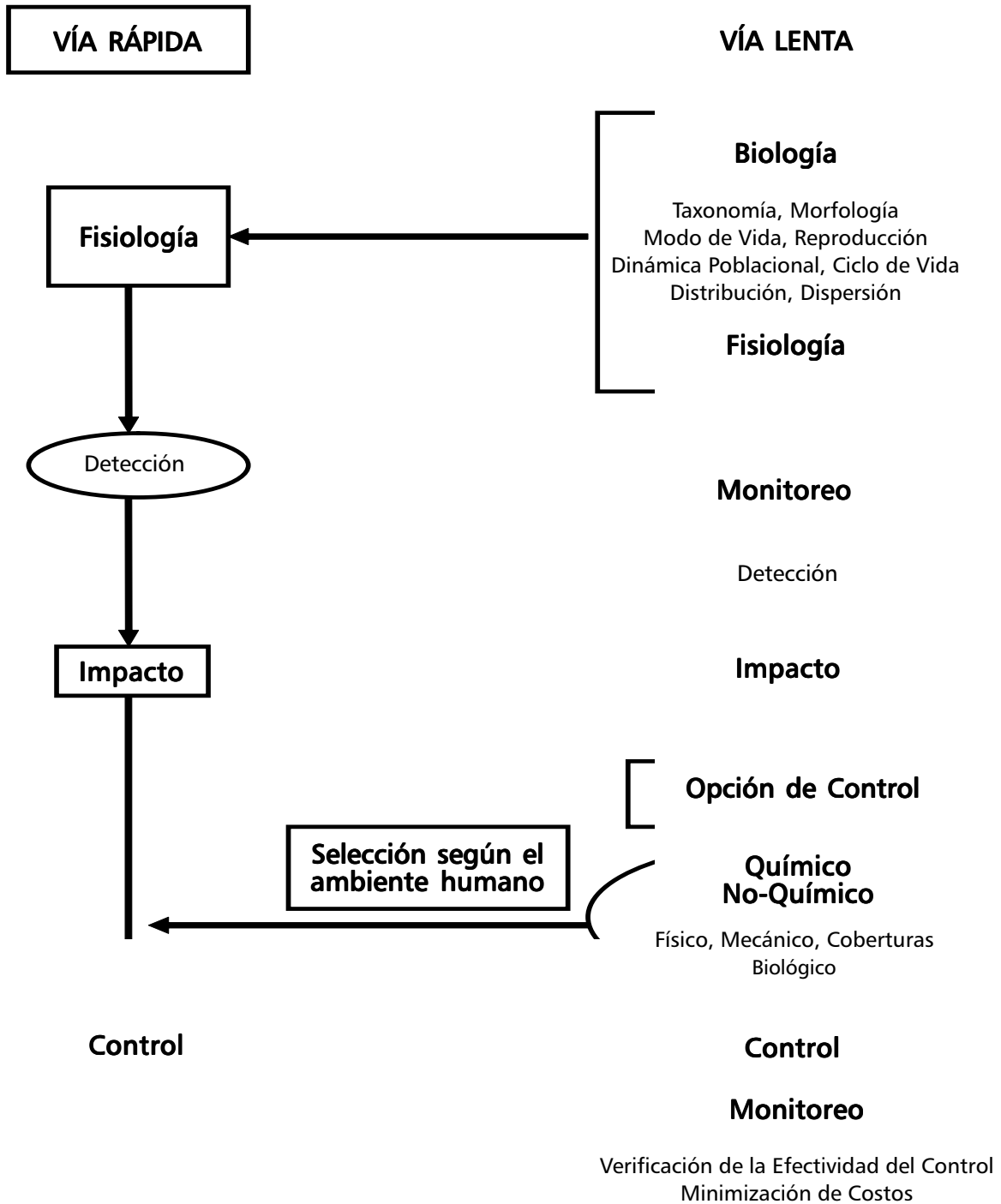


Figura 3. Estrategias de acción simultáneas para el control del *macrofouling* de agua dulce (modificado de Claudi & Mackie, 1994).

Sin embargo, para la aplicación de los químicos, se deben considerar:

- *concentraciones permitidas,
- *mecanismos de dilución del químico,
- *mecanismos de desactivación del químico.

Estos dos últimos casos son para evitar el impacto en el ambiente natural y el accionar corrosivo de los químicos.

Simultáneamente se debe implementar una segunda vía, denominada *lenta*, la cual consiste en encontrar la combinación adecuada de tratamientos físicos y químicos de menor impacto ambiental y de bajo costo. Para esto, como se mencionó reiteradamente, resulta básico el conocimiento de la biología del organismo invasor en esos ambientes.

Los potenciales métodos anti-incrustantes, ensayados algunos en medio marino y otros en agua dulce, incluyen agentes repelentes naturales, toxinas y métodos biológicos de control. Para estos métodos no existen datos disponibles para evaluar eficacia, costos y aceptabilidad ambiental. Algunos son utilizados en circuitos cerrados o en sistemas de baja liberación, o se encuentran todavía en fase de investigación; entre estos últimos, algunos parecen promisorios y podrían ser aplicados. Otros, por el contrario, no podrán ser aplicados en algunos circuitos o no pasarán el nivel de ensayos de laboratorio.

El mayor énfasis en control del *fouling* está desarrollado en el campo marino, mientras que en agua dulce, recién en la última mitad del siglo XX en Europa y Estados Unidos comenzaron a realizarse los estudios en forma metódica como en el marino. Esto se debió a las invasiones de *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), o mejillón cebra, y *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), o almeja asiática. Asimismo, existen también importantes ejemplos sobre la necesidad de realizar nuevas investigaciones para el desarrollo de procedimientos de control en la Región Neotropical, donde todavía el *macrofouling* en agua dulce es novedoso. Los tratamientos de prevención y control utilizados están basados en especies y ambientes de América del Norte, lo cual, es inapropiado para el resto de América.

La introducción del mejillón cebra en América del Norte ha provocado un incremento en los trabajos publicados para el control de esa especie, y ha generado un efecto amplificador no sólo en la investigación sino también en la difusión del problema de las bioinvasiones en general. En relación con el tema de las bioinvasiones acuáticas, se realiza anualmente el *International Zebra Mussels and Aquatic Nuisance Conferences*, en forma alternativa entre Estado Unidos y Canadá, donde se difunden los casos e investigaciones, tanto a nivel académico como general/comercial. En el año 2004 (ICAIS, 2004), la reunión número 13 fue la primera que se realizó fuera del continente americano, en Irlanda, lo que evidencia la necesidad de investigación para hallar tratamientos sustentables para el *fouling*, no sólo en América sino también en Europa.

Síntesis de métodos de control

En los sistemas de enfriamiento es fundamental la experiencia directa en su operatividad y función. Los procesos de *antifouling* que se han utilizado para los circuitos de enfriamiento caen en dos categorías principales: *Métodos físicos*, en los que no se adicionan químicos en el agua y *métodos químicos*.

Para el caso de grandes sistemas de enfriamiento que utilizan agua cruda, el *fouling* se encuentra en velocidades de agua con tasas que exceden el m³/seg. A fin de alcanzar soluciones económicas, es importante que los métodos sean adecuados para cada organismo del *fouling* (desde la capa inicial bacteriana) y diseñado específicamente para el circuito de enfriamiento en particular a tratar. Asimismo, mientras no existan soluciones genéricas aplicables a las numerosas categorías de organismos, optimizar los procedimientos requiere un conocimiento biológico particular de cada caso.

El objetivo de un régimen de control económico y ambientalmente óptimo, no necesariamente debe consistir en la eliminación total de los organismos asentados en todo el sistema. En la mayoría de los casos el éxito radica en el control de las especies que se asientan en ciertas partes del circuito y en prevenir el excesivo desarrollo de las poblaciones, para no alterar las otras partes asociadas más susceptibles del sistema.

Para el período entre dos limpiezas físicas programadas, un tratamiento químico debe limitar o eliminar al *fouling* en los circuitos e intercambiadores de los circuitos a un nivel de funcionalidad del sistema. En muchos casos, estos métodos, llevados a cabo en un determinado sitio, tienen relación con una o dos especies invasoras, para las cuales los procedimientos genéricos deben ser adaptados de acuerdo a sus demandas ecológicas, a fin de impedir el asentamiento larvario y crecimiento en las partes más sensible del circuito. En el caso de una sola especie, en este caso *Limnoperna fortunei*, implica el conocimiento biológico adecuado y llevar adelante un monitoreo de largo tiempo con el objeto de seguir la evolución de las poblaciones y notar la introducción de nuevos ejemplares o potenciales nuevas especies.

Otro elemento importante a considerar es la configuración del circuito y la operación del bombeo (descarga y velocidad del agua); es de singular importancia, asimismo, tener en cuenta las áreas de asentamiento más favorables para el crecimiento y asentamiento de los organismos (recodos del sistema, filtros, etc.).

Tabla 1. Beneficios y contraindicaciones de los químicos más utilizados en el control del *macrofouling* en agua dulce (modificado de Claudi & Mackie, 1994).

	Desventaja	Ventaja
QUÍMICOS NO-OXIDANTES		
Salinidad	- Podría utilizarse para el control si el sistema lo soporta.	- Adultos y larvas no son tolerantes a altas concentraciones de sal
Floculación	- Las concentraciones utilizadas en la floculación no son suficientes para el control.	- La combinación de Aluminio (como componente floculante), la disminución del pH y la mezcla puede producir la muerte de veliger.
Sales de potasio	- Es tóxico para otros integrantes del ecosistema	- Altamente tóxico para mejillones. - Puede ser utilizado en sistemas cerrados. - Es económico
Nitrato de amonio	- No presenta beneficios en relación con otros molusquicidas	- A ciertas concentraciones es efectivo. - Puede ser utilizado en sistemas cerrados. - Es económico
QUÍMICOS OXIDANTES		
Permanganato de potasio		- Agente oxidante efectivo. - Utilizado como alguicida
Peróxido de Hidrógeno	- Menos efectivo que el cloro - Es costoso.	- Agente oxidante efectivo, utilizado en plantas purificadoras de agua. - Previene el asentamiento de veliger
Brominas	- Se desconocen las concentraciones apropiadas y mecanismos de aplicación	- Oxidante más efectivo a pH mayor 8 - Menos tóxico que el Cloro para las especies no-blanco.
Ozono	- Alto costo del equipo y de su mantenimiento - Dificultad y alto costo para mantener concentraciones apropiadas	- Alta capacidad bactericida y previene otros agentes de <i>biofouling</i> . - Gran capacidad de disipación = sin residuo
Cloraminas	- Altas concentraciones para control de veliger. - Alto costo para sistemas de aguas en movimiento. - No presenta ninguna ventaja en relación con otros agentes oxidantes. - Se desconocen las dosis según las estrategias de aplicación.	- Utilizadas como desinfectante en plantas potabilizadoras. - Efectivo para veliger. - No produce trihalometanos
Dióxido de cloro	- Se requieren equipos especializados - Es más costoso que el cloro y más complicada su utilización	- Efectividad probada (diferentes opiniones) - No produce trihalometanos
Cloro	- La mayor preocupación, en cuerpos de agua lénticos, es que, combinados con sustancias orgánicas producen trihalometanos (carcinogénico)	- Efectividad probada - Aplicable en la mayoría de los sistemas de agua. - Tóxico a bajas concentraciones. - No es bioacumulable. - Residuo oxidante es sencillo de medir - Costo aceptable. - Sistema de clorinización es simple de construir y mantener

Sobre la base de un estudio realizado en Francia, Holanda, Reino Unido e Italia (Jenner y otros, 1998), los métodos más utilizados en los circuitos de enfriamientos en las estaciones generadores de energía, son los siguientes:

- Métodos físicos. Filtración del agua, limpiezas mecánicas, alta velocidad del agua, shock térmico y el uso de pinturas tóxicas y no tóxicas.
- Métodos químicos. En estos, la cloración es la más utilizada. Una breve síntesis sobre los pro y contras de algunos químicos, se encuentran en la Tabla 1.

Nuevos métodos han sido desarrollados a partir de proyectos de investigación para el mejillón cebra, luego de la introducción de esta especie en la década de 1980, e.g. microfiltración, cubiertas no tóxicas, luz UV, corriente electrolíticas, protección catódica, energía acústica y compuestos orgánicos. Por su parte, en los países europeos, alternativas a la cloración son dióxido de cloro u ozono, así como algunos compuestos orgánicos están siendo investigados. Campo de aplicación, impacto ambiental y costos limitarán sus usos en los sistemas de enfriamiento, e.g. algunos métodos pueden ser usados exitosamente para cosas muy específicas como es el caso del cloruro de potasio en sistemas contra incendio para el caso del mejillón cebra.

Dentro del conjunto de estrategias, las químicas son las más populares, y es la más elegida, tanto en Europa como en América del Norte. Para eliminar al mejillón cebra (Claudi & Mackie, 1994; Jenner y otros, 1998) se definieron cuatro estrategias, las que pueden ser aplicadas para todo el *macrofouling*. Pueden ser diseñadas para proteger todo el circuito, desde la toma de agua hasta la descarga. La desventaja radica en las limitaciones en la descarga de material tóxico al ambiente y, por lo tanto, en adecuarse a las regulaciones ambientales. Hay que elegir el químico de menor impacto en el ambiente y que éste, además, sea eficaz para eliminar los mejillones. Los químicos más frecuentemente considerados para el control del mejillón cebra se sintetizan en la Tabla 2. Los únicos que fueron aprobados para el control de este invasor son el hipoclorito de sodio o el cloro gaseoso. No obstante, varios agentes químicos en Estados Unidos han sido aprobados provisionalmente para aplicarlo en los sistemas. En sistemas cerrados o condiciones estáticas, el número de tratamientos químicos que pueden ser usados son varios, con la condición de no ser liberados al ambiente.

Tabla 2. Los químicos más utilizados para el control del mejillón cebra en América del Norte (modificado de Claudi & Mackie, 1994). **NA:** no aprobado como agente de control para el mejillón cebra; **A:** aprobado como agente de control para el mejillón cebra; **A*:** aprobado para algunas instalaciones e industrias sólo para remover las veliger; **Exp.:** en etapa experimental.

Químico para el control	Status de aprobación	
	Canadá	USA
Nitrato de amonio	NA	NA
Bromo	NA	A
Gas-cloro	A	A
Dióxido de cloro	NA	A
Cloramina	NA	NA
Peróxido de hidrógeno	NA	A
Sales de potasio	NA	A
Permanganato de potasio	NA	A
MOLUSQUICIDAS		
Buckman's Bulab 6002	NA	A
Beltz's Clam-Trol	NA	A
Calgon's H1-30	Exp.	A
Bayer's Baluscide	NA	NA
Nalco Actibrom	NA	A
Ozono	NA	A
OTROS		
Baja concentración de calcio, pH	Exp.	Exp.
Alta concentración de dióxido de carbono	Exp.	Exp.
Aluminio	A*	A*
Salinidad	NA	A
Metabisulfito de sodio	A	A

La forma de utilización del químico puede llegar a ser más importante que el químico elegido. Las diferentes estrategias tienen distintos objetivos. Existen cinco tipos básicos de aplicaciones de los tratamientos químicos (Figura 4), las cuales pueden, a su vez, agruparse en proactivas o prevención (precaución del asentamiento en los sistemas de agua), y reactivas o control (utilizadas cuando se han asentado en el sistema de agua o en estructuras externas) (Claudi & Mackie, 1994).

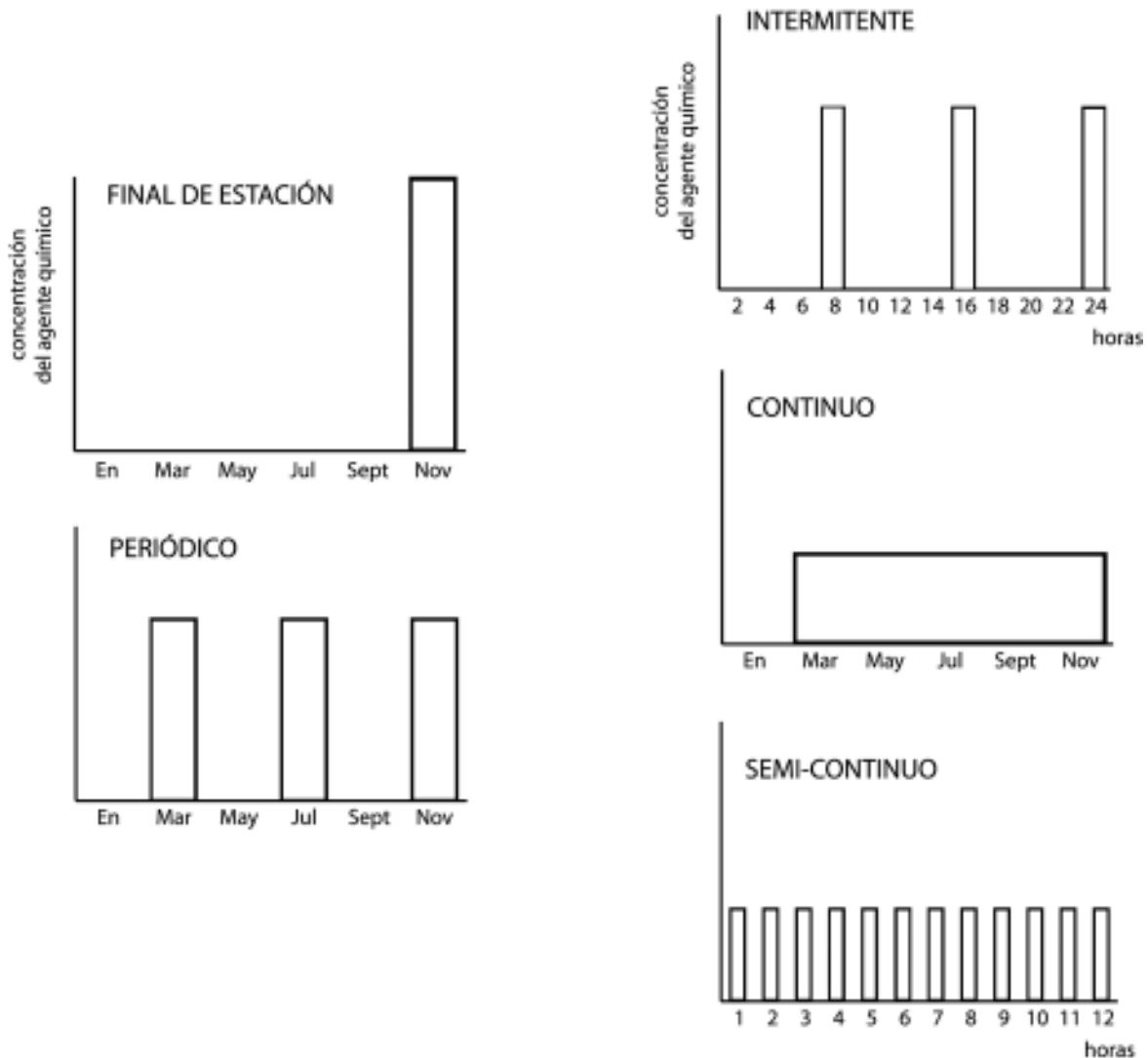


Figura 4. Esquema de los cinco tipos básicos de aplicación de químicos, destinados a la prevención y control del mejillón dorado (modificado de Jenner y otros, 1998).

Reactivo.

1) **Final de estación.** Al final de una estación de cría, químicos oxidantes o no oxidantes en cantidad suficiente son aplicados por un periodo largo, capaces de matar a todos los adultos establecidos en el sistema (la aplicación puede extenderse a semanas). Estos parecen ser utilizados en casi todas las plantas europeas y también en forma exitosa en América del Norte. El tratamiento presupone que el sistema de la planta puede tolerar el *fouling* del mejillón de una estación, y que la biomasa y las valvas presentes en el sistema pueden ser removidas después del tratamiento, sin mayores inconvenientes. Cabe destacar que se estima que el estado físico de los mejillones adultos es débil y no tienen reservas de energía en el cuerpo para la liberación de gementas.

2) **Periódicos.** Es una variación del ítem anterior. Nuevamente el blanco son los adultos, pero el tratamiento es más frecuente. Básicamente, se aplica cuando las densidades y tallas de los mejillones adultos permanecen bajas. La concentración y el tiempo serán semejantes al primer tratamiento. La biomasa que ha sido removida

es probablemente más pequeña, pero el sistema en cuestión debe ser capaz de tolerar ese grado de *fouling*. Si el tratamiento se realiza en períodos breves, éste previene el asentamiento de individuos muy grandes.

Pro-activas.

3) **Intermitente.** Dosificaciones cada día o cada tres días, a intervalos frecuentes (6, 12, 24 hs.); tiene por objeto prevenir la infestación del mejillón, por lo tanto se debe aplicar durante el período de asentamiento. Sólo ha sido utilizado con químicos oxidantes; su accionar radica en destruir las larvas post-veliger que se asentaron desde el tratamiento previo. Con esta estrategia se evita la infestación del sistema. En la etapa temprana de su vida el mejillón dorado es más susceptible que en su fase adulta, por lo tanto la concentración del químico es menor. El tratamiento cuenta con que el poder oxidante de los químicos es suficiente para penetrar la valva relativamente frágil de los mejillones recientemente asentados y destruir sus tejidos. No quedan restos de conchillas en las tuberías del sistema. Este tratamiento no afecta a los adultos que penetraron en el sistema.

4) **Semi-continuo.** Siendo expuesto a una sustancia nociva, el mejillón dejará de filtrar y rápidamente cerrará sus valvas. Esta situación se mantendrá entre 15 y 30 minutos antes de que las valvas sean reabiertas e intenten filtrar nuevamente. Por lo tanto, el tratamiento puede programarse cada 15-45 minutos. Esto impactaría en todos los estadios del mejillón de forma casi continua, pero con una utilización de químico menor que en el tratamiento continuo.

5) **Continuo.** Está diseñado para no permitir el asentamiento en el sistema. Las larvas veliger que entran no necesariamente sufren el 100% de mortalidad, pero la presencia de químicos nocivos puede ser suficiente para evitar el asentamiento de las mismas. Algún adulto presente puede también sucumbir si el bajo nivel del químico se mantiene durante la estación de cría. También pueden soltarse de sus bisos, a fin de alejarse del lugar de impacto del químico. Las concentraciones del químico pueden ser muy bajas, pero continuas. Es seleccionado para sistemas que no pueden tolerar ninguna cantidad de *fouling*. Por ejemplo, los sistemas antiincendio. Sólo fue aplicado con químicos oxidantes como el cloro.

Los criterios que deben adoptarse para la selección del químico a utilizar (Jenner y otros, 1998), son fundamentalmente dos:

- 1) La biología del organismo blanco, en particular la ubicación y duración del periodo de asentamiento.
- 2) La tasa de crecimiento de la especie blanco, teniendo en cuenta la relación de este parámetro con las características propias del ambiente como, por ejemplo, el nivel del recurso trófico.

Asimismo, debe considerarse, por un lado, el modo de acción del químico en cuestión, atendiendo a la toxicidad de éste (estrategia del tóxico, aguda o crónica); y, por el otro, la máxima densidad de *fouling* aceptado por el sistema (tolerancia operacional).

Por último, como se mencionó oportunamente, no existe un método eficaz que actúe sólo sobre la especie problema, en este caso el mejillón dorado. Por el contrario, la metodología sustentable económica y ambientalmente, radica en una combinación de tratamientos ordenados tanto espacial como temporalmente, que impacte lo menos posible al ambiente, no altere el normal funcionamiento de la planta y además sea económica. Para lograr esta combinación de tratamientos, no solamente hay que tener en cuenta lo mencionado en el presente capítulo, sino también desarrollar una serie de tres módulos: diagnóstico, generación de pautas científicas de acción y monitoreo. A esta serie se la denomina comúnmente etapas de un tratamiento de control (Tabla 3).

Tabla 3. Etapas de un tratamiento de Control del *macrofouling*.

<p>DIAGNOSIS. En este módulo, se plantea desarrollar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Evaluación del estado de invasión en el sistema de agua o ambiente humano, en relación con la situación existente en los diferentes sectores operativos considerando: <ul style="list-style-type: none"> - Características poblacionales del mejillón dorado (internas y externas a la Planta). - Estado de los asentamientos. - Estructura y funcionamiento de la planta. 2.- Resultados que se esperan alcanzar. <ul style="list-style-type: none"> - Situación o grado de contaminación por especies, actual. - Proyección de dicha contaminación en tiempo y espacio.
--

Tabla 3. (Continuación)

<ul style="list-style-type: none"> - Potenciales tratamientos y estrategias sustentables a seguir. <p>3.- Finalidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseño de un programa sustentable de control del <i>macrofouling</i> de agua dulce. - Construcción de un presupuesto definitivo para el control. <p>4.- Actividades.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toma de muestras representativas de la población (adultos y larvas). - Determinación de los puntos de muestreos, sobre la base de: <ul style="list-style-type: none"> - Características estructurales de la Planta y capacidad de acceso. - Determinación de los puntos clave para el sistema. - Análisis de dichas muestras. - Toma de conocimiento de materiales y tipo de aplicación de la Planta. - Informe final.
<p>DISEÑO DE TRATAMIENTOS PARA EL CONTROL.</p> <p>a.- Aplicación de una combinación de tratamientos según la estructura y funcionamiento de la planta.</p> <p>b.- Aplicar una serie de módulos en forma ordenada e intensiva.</p> <p>Módulos potenciales:</p> <p>I.- Limpieza.</p> <p>II.- Sectorización del control.</p> <p>III.- Selección y aplicación de tratamientos para cada sector.</p>
<p>MONITOREO</p> <ul style="list-style-type: none"> * Evaluar la efectividad * Minimizar al máximo concentraciones y aplicaciones en los tratamientos considerando: <ul style="list-style-type: none"> - efectividad de las dosis y aplicaciones; - épocas del año/ciclo de vida de la especie; - rutina de mantenimiento de la planta.

DIFUSIÓN

Como se mencionó al comienzo del presente capítulo, existe aún un novedoso problema económico/ambiental, como es el *macrofouling* de agua dulce en América del Sur en particular y las bioinvasiones en general. La finalidad del presente módulo es lograr que este problema deje de ser novedoso y se considere de forma rutinaria, no su existencia sino su prevención y control.

Con la finalidad esbozada en el párrafo anterior, se debe llegar a concienciar a toda la sociedad, profesional y no profesional, para lo cual, a modo de ejemplo, se describirá someramente el caso implementado por la Universidad Nacional de La Plata, a través de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, por medio de un programa de difusión (para más información consultar en www.malacologia.com.ar) ejecutado a través de:

a) Cursos destinados a un público específico: graduados, profesionales de las plantas y docentes de distintos niveles.

b) Folletos, cuya finalidad es llegar a la parte de la población con mayores posibilidades de transformarse en vector de este tipo de contaminación por especies (pescadores, nautas, etc.).

c) Documentales y exposiciones y/o muestras destinadas a un público general.

Este tipo de mecanismo o programa de difusión es efectivo en la medida que su accionar no sea sólo a través de una sola universidad o el nivel académico, como único que esté abocado a la misma. Por el contrario, el nivel del problema a tratar supera un simple programa universitario o, quizás, de una empresa privada abocada a este accionar, y tiene que ser realizado por las entidades nacionales e internacionales involucradas, por ejemplo, por estructuras de gestión existentes en el Mercosur.

REFERENCIAS

- CLAUDI, R. & G. L. MACKIE. 1994. *Practical manual for zebra mussel monitoring and control*. Lewis Publishers, Boca Ratón, 227 pp.
- DARRIGRAN, G. & C. DAMBORENEA. 2005. A bioinvasion history in South America. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), the golden mussel. *American Malacological Bulletin*, 20 (1/2):105-113
- DARRIGRAN, G., P. PENCHASZADEH, C. DAMBORENEA & N. GRECO. 2003. Abundance and distribution of golden mussel *Limnoperna fortunei* larvae in a Hydroelectric Power Plant in South America. *Proceeding 11th. International Conference on Aquatic Invasive Species* :310-314. Alexandria, Virginia, USA 2002.
- ICAIS. 2004. 13th International Conference on Aquatic Invasive Species September 20 to 24, 2004 Lynch West County Hotel Ennis, County Clare, Ireland (www.incais.org).
- JENNER, H. A., J. W. WHITEHOUSE, C. J. L. TAYLOR & M. KHALANSKI .1998. Cooling water management in European power stations. *Biology and Control of Fouling. Hydroécologie Appliquée* 10(1-2):1-225.
- PASTORINO, G., G. DARRIGRAN, S. MARTÍN & L. LUNASCHI. 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1957) (Mytilidae) nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata. *Neotropica* 39:101-102.

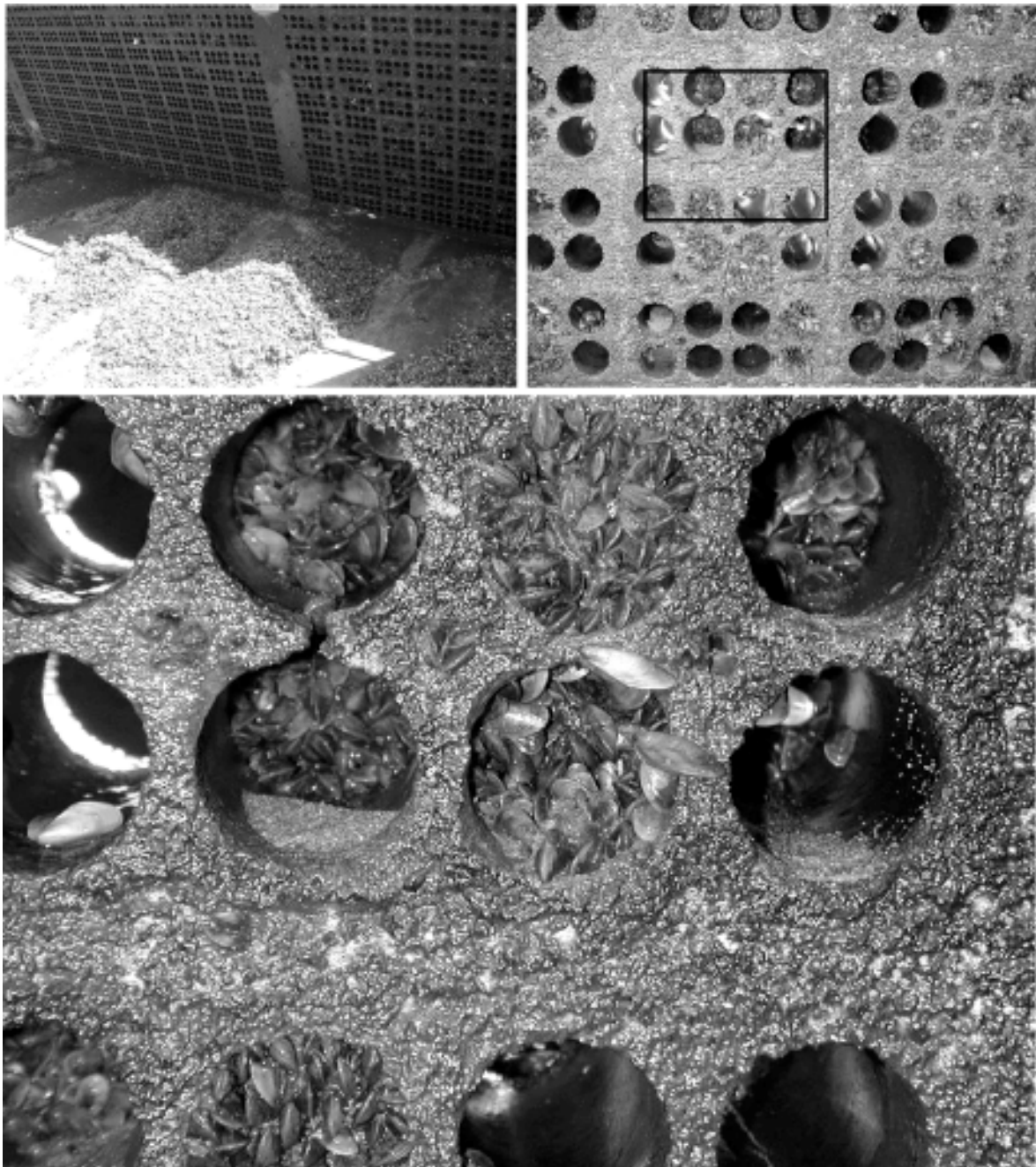


Lámina 1. *Macrofouling* en el parshall de una Planta Potabilizadora.