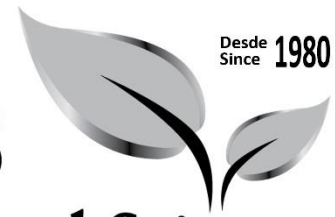




Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Especies acuáticas invasoras en Latinoamérica: ¿nuevos indicadores de viejos problemas?

Invasive Aquatic Species in Latin America: New Indicators of Old Problems?

Ernesto Brugnoli ^a y Lucía Boccardi ^b

^a El autor es biólogo, es profesor e investigador en la Universidad de la República, en Montevideo, Uruguay. ^b La autora es bióloga, Costa Rica.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza

Enrique Leff, UNAM, México

Marielos Alfaro, Universidad Nacional, Costa Rica

Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica

Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica

Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

ESPECIES ACUÁTICAS INVASORAS EN LATINOAMÉRICA: ¿NUEVOS INDICADORES DE VIEJOS PROBLEMAS?

por ERNESTO BRUGNOLI Y LUCÍA BOCCARDI

RESUMEN

Se da cuenta de recientes problemas que en varios países de Latinoamérica han causado plantas acuáticas invasoras (*Hydrilla verticillata* y *Lemna obscura*) y moluscos con comportamiento invasor o potencialmente invasor (*Limnoperna fortunei*, *Corbicula fluminea*). Se señala las características generales de las diferentes especies, los ecosistemas invadidos, las causas y consecuencias potenciales de su invasión, así como los gastos ocasionados en los usuarios de los sistemas invadidos. Se indica la necesidad de futuros enfoques, estudios y normativa en los países de la región.

*Recent problems that in various Latinamerican countries have caused invader aquatic plants (*Hydrilla verticillata* and *Lemna obscura*) and mollusks with invader or potentially invader behaviour (*Limnoperna fortunei*, *Corbicula fluminea*) are accounted. The general characteristics of the different species are pointed out, together with the invaded ecosystems, the potential causes and consequences of the invasion, and the expenses caused to the users of the invaded systems. The need of future approaches, studies and normatives in the countries of the region are indicated.*

La especie invasora es un organismo exótico que, liberado intencional o accidentalmente en un lugar, se propaga sin control, se sostiene por sí mismo en hábitats naturales o artificiales y ocasiona disturbios ambientales como modificaciones en la composición, estructura y procesos de los ecosistemas (de Poorter 1999). De forma genérica, la invasión biológica envuelve las fases de introducción, establecimiento, naturalización y rápida dispersión fuera de los rangos normales (Williansson 1996).

La dispersión de especies exóticas y, en determinados casos, su desarrollo como especies invasoras, ha sido favorecido por la fragmentación y degradación de los hábitats naturales -por causas antrópicas-, por el incremento del intercambio comercial, por los fenómenos de globalización y, destacadamente, por el cambio climático, que potencia los efectos negativos sobre los ecosistemas. Esas especies son, en su mayoría, colonizadoras con capacidad de tomar ventaja de la reducida competencia por el hábitat y otros recursos por parte de las especies nativas (Kowarik 1997, Dukes y Mooney 1999).

En la mayor parte de los grupos taxonómicos existen especies invasoras: virus, hongos, algas, musgos, helechos, plantas superiores, invertebrados y vertebrados. En los ecosistemas acuáticos se destacan las cianobacterias y clorofíceas, los helechos, las plantas herbáceas, las tifáceas, las aráceas, las pontederiáceas y las hidrocaritáceas. Entre los vertebrados se destacan algunos peces (carpas y tilapias), mientras que de los invertebrados resaltan algunos crustáceos (langostas de río y cladóceros), insectos y moluscos (principalmente bivalvos) (de Poorter 1999, Howard 1999). Las especies invasoras acuáticas pueden habitar la columna de agua y su superficie y utilizarla

como medio de dispersión o invadir el suelo saturado y la interfase agua-tierra. Tales especies ocasionan contaminación genética, pérdida de biodiversidad, problemas sanitarios (transmiten enfermedades) y alteran las condiciones hidrológicas naturales cambiando flujos y tasas de sedimentación (de Poorter 1999, Howard 1999).

La planta *Eichhornia crassipes* ocasionó pérdidas millonarias en el lago Victoria; el pez *Lates niloticus* (perca del Nilo) disminuyó las pesquerías y biodiversidad de ese lago; la carpa *Cyprinus carpio* se reconoce como especie invasora en Estados Unidos ocasionando gastos en programas de control, y la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) causó desastres económicos en las plantaciones de arroz de Estados Unidos y China (Courtenay y Robins 1975, Howard 1999). El mejillón cebra, *Dreissena polymorpha*, provocó pérdidas cercanas a \$2.000 millones durante 1999 en América del Norte y la *Corbicula fluminea* generó impactos económicos negativos a las empresas afectadas debido a gastos ocasionados por la implantación de programas de control (Darrigran 2002). Al igual que el mejillón cebra en América del Norte, actualmente el mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) ocasiona problemas similares en la cuenca del Plata, alterando la biodiversidad local, causando impactos económicos, generando que el *macrofouling* (asentamiento y colonización de organismos mayores a 50 µm sobre sustratos artificiales) de agua dulce se haya convertido en un nuevo problema ambiental/económico en la región (Darrigran y Ezcurra de Drago 2000, Darrigran 2002, Brugnoli *et al.* en prensa, Muniz *et al.* aceptado no publicado).

El presente trabajo, describe problemas recientes ocasionados en países de Latinoamérica por especies acuáticas de plantas invasoras (*Hydrilla verticillata* y *Lemna obscura*) y moluscos con comportamiento invasor o potencialmente invasor (*Limnoperna fortunei*, *Corbicula fluminea*). Se señala las características generales de las diferentes especies, los ecosistemas invadidos, las causas y consecuencias potenciales de su invasión, así como los gastos ocasionados en los usuarios de los sistemas invadidos. Se indica la necesidad de futuros enfoques, estudios y normativa en los países de la región.

A continuación se da cuenta de varios estudios de caso referentes a la introducción de

Hydrilla verticillata, *Lemna obscura*, *Limnoperna fortunei* y *Corbicula fluminea* en varios ecosistemas en Latinoamérica, tocando los diversos aspectos de cada problemática.

Plantas acuáticas invasoras en zonas tropicales y neotropicales

El proceso de eutrofización en lagos someros altera la comunidad de hidrófitas en dos sentidos contrarios. Por un lado, si se favorece el fitoplancton, éste puede sombrear la columna de agua inhibiendo el desarrollo de plantas sumergidas, pudiendo erradicarlas completamente (Scheffer 1998); por otro lado, si el enriquecimiento de nutrientes favorece a las hidrófilas, éstas aumentan la producción de biomasa y su cobertura en el sistema, donde la magnitud de este incremento depende del tipo de planta (enraizadas o flotantes libres), de las características del sistema (forma y profundidad del cuerpo de agua) y de las condiciones ambientales dominantes del ecosistema (intensidad lumínica y concentración de nutrientes) (Scheffer 1998, Mazzeo *et al.* 2002). En determinadas circunstancias, algunas hidrófitas pueden transformarse en invasoras, aumentando su crecimiento y cobertura, desplazando a otras especies presentes (Mazzeo *et al.* 2002). Su capacidad invasora dependerá de su forma de vida, su tasa de crecimiento vegetativo, la biomasa desarrollada, la habilidad de regenerarse a partir de pequeñas porciones de tallo y la ausencia de herbívoros (Duarte *et al.* 1994).

Algunas especies que se encuentran naturalmente en un ecosistema pueden volverse malezas si son introducidas fuera de su área de distribución natural o si el ecosistema sufre disturbios naturales o artificiales (Ashton y Mitchell 1989). Es el caso particular de *Egeria densa*, planta acuática perenne, dioica, enraizada y nativa de América del Sur, cuya distribución incluye el sudeste de Brasil y la costa atlántica (Argentina y Uruguay). Debido a su rápida dispersión, desplazando especies nativas, es descrita como maleza en los hemisferios Norte y Sur. En un sistema somero hipereutrófico de la zona costera uruguaya esta especie mostró una rápida colonización debido a modificaciones ambientales (cambios en el nivel del agua asociados a su uso y a los eventos del fenómeno de *El Niño*), ocasionando efectos a nivel ecosistémico (Gar-

cía-Rodríguez *et al.* 2002, Larrea 2002, Mazzeo *et al.* 2003).

La eutrofización del sistema puede favorecer a las especies invasoras de plantas, promoviendo la formación de densas estructuras flotantes o sumergidas, afectando el funcionamiento del sistema e interfiriendo en sus usos, bloqueando canales de navegación, afectando la pesca, el turismo, las instalaciones hidroeléctricas y generando problemas sanitarios (Mazzeo *et al.* 2002, Haller 2002).

A continuación se presentan dos casos recientemente reportados en la zona neotropical referidos a plantas acuáticas con comportamiento invasor: *Hydrilla verticillata* (lago de Izabal y río Dulce, Guatemala) y *Lemna obscura* (lago de Maracaibo, Venezuela).

Hydrilla verticillata

Ésta es una planta acuática sumergida descrita como maleza perfecta debido a su crecimiento excesivo, formas de reproducción y adaptabilidad. Es monoica o dioica y puede reproducirse por fragmentos, semillas, tubérculos y turiones, donde estos dos últimos permanecen viables por días fuera del agua y por años en sedimentos, sobreviviendo la digestión y regurgitación de aves acuáticas. Habita cuerpos de agua dulce y salobre con salinidades menores a 8 ups, incluyendo lagos, lagunas, estanques, ríos y charcos temporales. La especie fue introducida en América del Norte vía comercio de acuarios, desde el sudeste asiático a fines de 1950; se cultivó, se vendió como planta ornamental y rápidamente se dispersó en los canales del sureste de Estados Unidos entre 1960 y 1970. Se reporta en el lago Gatún (Panamá) desde 1960, siendo encontrada además en Venezuela y Colombia. Presenta condiciones adecuadas de crecimiento rápido en aguas turbias con bajos niveles de dióxido de carbono y se encuentra en sistemas con profundidades de hasta 8 m. Puede ocasionar cambios en las comunidades planctónicas, anoxia debido a su excesivo crecimiento y genera microhábitats para invertebrados. Reduce el flujo de agua en canales de irrigación e impide la recreación en lancha y la pesca comercial, pudiendo obstruir plantas generadoras de energía hidroeléctrica (Arrivillaga 2002, Haller 2002).

Hydrilla verticillata ha sido colectada a partir de 1990 en Guatemala y desde 2001 en el

lago de Izabal (15°24' N y 88° 58'W), el más grande de Guatemala con una superficie de 717 km², que desagua en el mar Caribe por medio del río Dulce (Arrivillaga 2002). Es un sistema polimíctico, con una profundidad promedio de 12 m y máxima de 17 m, donde cerca del 10 por ciento presenta profundidades menores a 5 m. En la zona de la desembocadura en el Caribe se encuentran humedales influenciados por las mareas presentando esta zona penetración salina, principalmente durante la temporada seca. La cuenca se encuentra afectada por la deforestación, el uso extensivo de agroquímicos (agricultura anual y permanente con palma) y el aporte de aguas servidas sin tratamiento. La calidad de agua del lago refleja el aporte de los tributarios y los usos de la cuenca; el lago se encuentra en proceso de eutrofización acelerada, principalmente en el área cercana a la desembocadura de los principales afluentes (Arrivillaga 2002, Otecbio 2002).

El ingreso de *Hydrilla verticillata* al lago pudo deberse al transporte por embarcaciones provenientes de sistemas donde se encontraba la especie (Florida) o haber sido introducida por acuaristas; el huracán *Mitch* -en 1998- se menciona como la potencial causa de dispersión de esta especie en el lago y la salinidad como el factor limitante en el área de la desembocadura (Haller 2002). En el lago de Izabal, en octubre de 2002, la cobertura era cercana al 3 por ciento, ocasionando problemas menores a la pesca y la navegación (figura 1). De acuerdo con la profundidad donde puede establecerse la especie (0-6 m), la batimetría del sistema, las condiciones del sedimento y el potencial de dispersión, se esti-

Figura 1. *Hydrilla verticillata* en Izabal (modificado de Haller [2002]).



mó un aumento en su cobertura del sistema de entre 10 y 25 por ciento. Esto generaría impactos negativos en el turismo y las marinas y potenciales problemas de salud pública debido a la proliferación de mosquitos que podrían ocasionar paludismo y dengue (Haller 2002, Otecbio 2002, Conap 2003).

Lemna obscura

Ésta es una planta flotante libre que habita encima o debajo de la superficie del agua de manera solitaria o en grupos de 2, 10 o más individuos, con reproducción por gemación. Las principales formas nitrogenadas que utiliza son el amonio y el amoníaco, tolerando bajas salinidades (4-8 ups). El género *Lemna* es considerado como indicador de eutrofización e incluye varias especies que por su capacidad y rapidez de propagación han causado obstrucción de canales de riego y drenaje, alterando la navegación y la pesca y problemas sanitarios (www.iclam.gov.ve dic 2004).

En el lago de Maracaibo (Venezuela), durante enero-marzo de 2004 se observó una explosión demográfica de la lenteja de agua (*Lemna*), identificada como *Lemna minima fill* o *Lemna obscura* (según la referencia utilizada), que llegó a cubrir aproximadamente el 15 por ciento de la superficie del lago (figura 2). El género es reportado en el sistema desde la década de los setenta (www.vitalis.net dic 2004), aunque, de tratarse de *Lemna obscura*, correspondería a una especie exótica cuya forma de introducción al sistema habría ocurrido a través del transporte por aves provenientes de Florida (González 2004).

El lago de Maracaibo se sitúa en el noroeste de Venezuela, es el cuerpo receptor de la cuenca Maracaibo y forma parte del sistema Maracaibo; actúa como cuerpo de agua salobre que se conecta a través del estrecho de Maracaibo con el golfo de Venezuela y el mar Caribe (Rodríguez 2001). Ocupa una depresión de 13.280 km² y presenta profundidades que oscilan entre 5 y 34 m (González 2004). La zona alrededor del golfo de Venezuela presenta dos estaciones diferenciales en sus precipitaciones, seca y lluviosa, ocurriendo el 90 por ciento de las precipitaciones entre mayo y octubre. El sistema muestra un patrón de circulación ciclónico, iniciado por la acción de los vientos y por una fuerte descarga de agua dulce proveniente de los ríos, en su

extremo sureste; como consecuencia de esta circulación se forma un hipolimnion en forma de cono en las cercanías del centro del lago. La temperatura del agua presenta un comportamiento estacional con mínimos (29 °C) en febrero y máximos (32,5 °C) en septiembre; las menores salinidades (0,02 ups) se observan en su extremo sureste, ingresando masas de agua salobres por zonas profundas contribuyendo al cono salino del hipolimnion antes mencionado. Condiciones anóxicas pueden ocurrir en una gran área del hipolimnion cuando la columna de agua se encuentra estratificada; las menores concentraciones de oxígeno en superficies se observan en diciembre (cuando la base del cono es reducida y su ápice se acerca a la superficie), donde el volumen del hipolimnion es reducido y el agua es mezclada. Debido a la baja circulación del hipolimnion, las concentraciones de fósforo y nitrógeno se incrementan de superficie al fondo, donde los niveles de fósforo en la columna de agua son controlados por los sedimentos del fondo y los procesos de absorción que en él ocurren (Rodríguez 2001).

El sistema Maracaibo sostiene cerca del 18 por ciento del total de la pesca de Venezuela; la cuenca presenta una población humana cercana a los 5,5 millones con una intensa actividad petrolera y muestra un importante desarrollo de la actividad agrícola, recibiendo el lago de Maracaibo vertidos directos de aguas servidas de diferentes poblaciones costeras (Rodríguez 2001, González 2004, www.vitalis.net). Los nutrientes atrapados en las aguas salinas densas en la base del hipolimnion, y las condiciones anóxicas cercanas al fondo, iniciaron el proceso de eutrofización del Lago de Maracaibo incrementando los problemas ambientales del sistema, debido a la contaminación por pesticidas, metales pesados e hidrocarburos (Rodríguez 2001).

Para explicar el excesivo crecimiento de *Lemna obscura* en este sistema se plantea como hipótesis que las lluvias hayan transportado nutrientes desde las cuencas, o que una presencia excesiva de N-amoniaco haya favorecido la reproducción, no descartándose la combinación de ambas (www.iclam.gov.ve). Relacionado con la presencia de N-amoniaco se menciona como causa la erosión del hipolimnion y su posterior liberación de nutrientes al epilimnion (www.iclam.gov.ve). La densidad de plantas puede

interferir con la navegación del lago, afectar la actividad pesquera y la descomposición de esta biomasa vegetal puede ocasionar anoxia en estratos profundos del sistema, además de malos olores y potenciales problemas sanitarios (González 2004).

Figura 2. *Lemna obscura* en lago de Maracaibo (www.vitalis.net). Crecimiento de *Lemna* sp a lo largo de la costa (tonos grises en la foto izquierda y blanco en la derecha).



Invertebrados invasores en cuenca del Plata

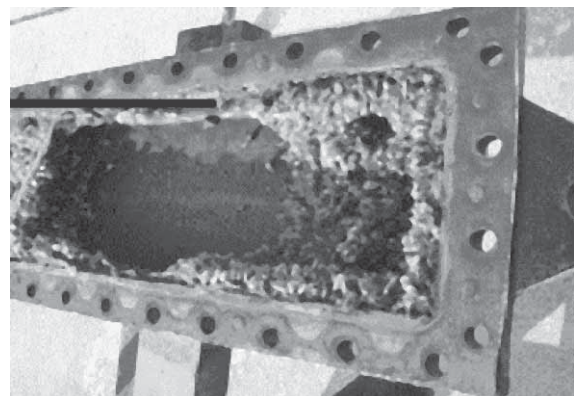
La cuenca del Plata presenta como principales sistemas fluviales a los ríos Paraná, Uruguay, Paraguay y de la Plata, mostrando una extensión de tres millones de kilómetros cuadrados y una población cercana a los 120 millones de habitantes. Es la zona más industrializada de América del Sur y está integrada por Argentina, Bolivia, Brasil, Uruguay y Paraguay. Debido a su rápida urbanización, presenta diversos problemas ambientales: contaminación de sus recursos hídricos, construcción de embalses y eutrofización (Tundisi 1994), a lo que se ha sumado la

recientemente registrada presencia de especies exóticas de moluscos que ocasionan pérdida de biodiversidad en los sistemas hídricos y afectan de forma negativa la economía de los países ocasionando gastos indirectos a las empresas afectadas (Darrigran 2002).

Los moluscos exóticos accidentalmente introducidos en la cuenca del Plata corresponden a *Corbicula fluminea* y *Limnoperna fortunei*, que presentan características biológicas particulares y una amplia distribución en la región (cuadro 1). Estas especies son originarias del sudeste asiático y se hipotetiza que su transporte a la región se realizó por medio de las aguas de lastre o como fuente de alimento de personal de buques mercantes (Darrigran 2002); posteriormente existió una dispersión dentro de la región por navegación local y/o dispersión larval (Darrigran 2002, Mansur et al. 2004a y 2004b, Brugnoli et al. 2005). De esas dos especies, hasta la fecha solamente *Limnoperna fortunei*, comúnmente conocida como mejillón dorado, presenta comportamiento invasor (Darrigran 2002, Mansur et al. 2004a), mostrando mayores impactos económicos y ambientales que *Corbicula fluminea* (Darrigran 2002).

Las características bióticas del mejillón dorado (p.e., epibentónicos, comportamiento gregario, elevada tasa reproductiva), ocasionan problemas de *macrofouling* (figura 3), generando obstrucción de filtros, inutilización de sensores hidráulicos, daños en los sistemas de refrigeración y en las bombas de captación, y disminución en el diámetro de las tuberías de conducción del agua (Brugnoli et al. en prensa).

Figura 3. *Macrofouling* ocasionado por *Limnoperna fortunei* en estructuras hidráulicas.



Cuadro 1. Características biológicas, ecológicas y distribución de *Limnoperna fortunei* y *Corbicula fluminea* (modificado de Brugnoli y Clemente [2002]).

<i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker 1857)		<i>Corbicula fluminea</i> (Muller 1774)
Nombre común	Mejillón dorado	Almeja asiática
Clasificación taxonómica	Mollusca: Bivalvia, Mytilloidea.	Mollusca: Bivalvia, Corbiculidae
Forma y color	Alargada, color dorado-marrón.	Ovalada, color grisáceo y/o blanco - negro
Tamaño máx. estimado	40 – 45 mm	30 mm
Reproducción	Sexual, dioicos, fecundación externa y desarrollo indirecto. Estadios larvales valvados y no valvados de vida libre.	Sexual, hermafroditas, fecundación interna y desarrollo indirecto. Estadios larvales valvados de vida libre
Hábitat	En la fase juvenil y adulta habita sustratos duros. Hábito epifaunal. Habitan sistemas de agua dulce hasta 3 ups (Darrigran 2002).	En fases juveniles y adultas habitan sustratos blandos. Hábito infaunal. Habitan sistemas de agua dulce hasta 15 ups.
Densidad poblacional	Hasta 150.000 ind/m ²	Hasta 10.000 ind/m ²
Actual distribución	Ríos de la Plata, Uruguay, Negro, Santa Lucía, Paraná, Salado (Darrigran <i>et al.</i> 2002, Brugnoli <i>et al.</i> 2005) y laguna de los Patos (Mansur <i>et al.</i> 2003).	Ríos de la Plata, Uruguay, Paraná, laguna Merín y lago Guaiba (Brugnoli <i>et al.</i> en prensa, Mansur <i>et al.</i> 2004a).

Prevención + control + erradicación = total de ¿gastos indirectos?

Las especies invasoras ocasionan interferencia con actividades humanas (Morton 1977, Darrigran 2002, Mansur *et al.* 2003), generando gastos indirectos a las empresas afectadas (Pimantel *et al.* 1999, Darrigran 2002, Brugnoli *et al.* en prensa). Para una gestión ambientalmente saludable de estas especies se sugiere prevenir su ingreso y controlar su población una vez ingresada al sistema, ya que la erradicación del mismo es muy costosa (de Poorter 1999).

El control poblacional es la aplicación de estrategias de manejo que modifiquen las variables poblacionales de la especie (tasa de crecimiento, inmigración, emigración) con el objetivo de reducir, mantener o incrementar su abundancia en un ambiente. Específicamente, toda medida de control de especies invasoras debería ser aplicada en el o los momentos del ciclo de vida en que ocasione el máximo impacto en la población. Se debe seleccionar un método

de control consistente con los propósitos de control, no afectando negativamente el ambiente (Howard 1999). La aplicación de una determinada estrategia de control necesariamente deberá contar con un monitoreo del ambiente y de su efecto sobre las otras especies que habitan el ecosistema. Las estrategias de control utilizadas se clasifican en químicas, físicas y biológicas.

Para el caso de las macrófitas, se utilizan pesticidas como control químico, peces herbívoros como controladores biológicos y cosechadoras o barcos adaptados para el control mecánico o extracción. La elección del mejor método de control dependerá del tipo de planta presente en el sistema (flotantes, sumergidas o enraizadas), aunque no hay que desestimar el impacto ambiental ocasionado en la calidad de agua al incorporar determinados herbicidas u organismos exóticos para el control de estas malezas (Straskraba y Tundisi 2000).

Debido a la actual extensión de *Hydrilla* en el lago de Izabal, su erradicación es muy compleja

y es necesario desarrollar planes de prevención para la expansión de esta especie en el sistema, monitorear y generar opciones de manejo a corto y largo plazos (Arrivillaga 2002, Haller 2002). Para el caso específico de *Lemna* en el lago de Maracaibo, la prevención falló y debido a la magnitud de la invasión la erradicación es compleja; se realizó un control poblacional mediante la remoción física, extrayendo a la especie por medio de "cosechadoras" con un importante aporte de recursos humanos locales (González 2004, www.vitalis.net). En ambos casos, la implantación de las alternativas de control representa gastos indirectos a las entidades ambientales de Guatemala y Venezuela (cuadro 2).

cuidados ambientales, ya que existen unos que pueden tener efectos negativos sobre la biota.

Hasta la fecha, en Uruguay, al igual que en el resto de la cuenca del Plata, estos organismos generaron problemas en plantas potabilizadoras de agua, instalaciones de represas hidroeléctricas y puertos y frigoríficos que utilizan el agua como insumo, ocasionando gastos indirectos -según estimación primaria- por \$10.000 o más por cada empresa afectada (Ibid.). Estos gastos se debieron al incremento en la frecuencia de tareas de mantenimiento, reparación de equipos, cambio de estructuras, mayor consumo energético para el bombeo de agua o inversiones en recursos destinados a programas de control y erradicación de las colonias invasoras (Clemente y Brugnoli 2002, Brugnoli *et al.* en prensa, Muniz *et al.* aceptado pero no publicado).

Los gastos en programas de control de especies exóticas en Latinoamérica, planificados o ejecutados, no incluyen costos o pérdidas ecológicas (pérdida de biodiversidad y de funciones ecosistémicas), sociales (pérdida de pesquerías artesanales, efectos sobre la salud), de investigación ni programas de monitoreo con-

Cuadro 2. Gastos en control de plantas invasoras en Latinoamérica.

Especie	Sistema invadido (sitio y país)	Gastos realizados o estimados (*)	Métodos de control
<i>Hydrilla verticillata</i> Planta acuática sumergida. Familia Hydrocharitaceae ^(1, 2)	Lago de Izabal y río Dulce (Guatemala)	\$800.000 - \$2.975.500	Biológico, mecánico o químico
<i>Lemna obscura</i> Planta acuática flotante. Familia Lemanaceae (lenteja de agua) ^(3, 4, 5)	Lago de Maracaibo (Venezuela)	\$400.000 - \$3.000.000	Mecánico

*Rango de gastos: 1) Arrivillaga 2002, 2) Haller 2002, 3) González 2004, 4) Méndez 2004 (com. pers), 5) www.vitalis.net.

Al igual de lo que ocurre en la cuenca del Plata (Darrigran 2002), el principal organismo que genera *macrofouling* en Uruguay es *Limnoperna fortunei*, ocasionando gastos indirectos al 90 por ciento de las empresas afectadas (Brugnoli *et al.* en prensa). Para su control poblacional se utiliza principalmente el método mecánico (Ibid.) removiendo las colonias con hidrolavados o raspando las superficies afectadas, sin una planificación relacionada con la dinámica poblacional de la especie. Menos utilizado es el control químico mediante cobre, el compuesto amonio policuaternario Polyquat, cloro o el uso de pinturas *antifouling* como protección de las estructuras factibles de ser colonizadas por estos organismos. De incrementarse el uso de estos compuestos, se debería realizar con importantes

continuos para prevención y generación de acciones inmediatas a la detección de organismos exóticos en ecosistemas costeros (Hayes *et al.* 2005). La realización de estudios interdisciplinarios por profesionales de las ciencias ambientales, que incluyan consideraciones ecológicas, sociales y económicas, permitirá estimaciones más precisas sobre los gastos ocasionados por estos organismos, incluyendo daños ecológicos y sociales estructurales y no estructurales.

Conclusiones

Actualmente, las invasiones biológicas son consideradas como otro indicador de los cambios ambientales que ocurren a escala global, cambios en los regímenes de precipitación, en la cobertura forestal y en la expansión de la

frontera agrícola que ocasionan pérdida de biodiversidad. Las modificaciones en los regímenes de precipitación podrían generar variaciones en la salinidad de los cuerpos de agua costeros, aumento de la escorrentía y lavado de nutrientes hacia los sistemas acuáticos, ocasionando procesos de eutrofización en los sistemas acuáticos, generando condiciones propicias para el desarrollo de macrófitas con comportamiento invasor, aumentando así la vulnerabilidad de los ecosistemas a la invasión de otras especies. Las especies de plantas acuáticas descritas en el presente trabajo son indicadores de la degradación ambiental de los cuerpos de agua invadidos (lagos de Izabal y de Maracaibo), reflejando indirectamente el estado del deterioro ambiental de la cuenca.

Los problemas ambientales son consecuencia de las actividades humanas. En el caso particular de las especies exóticas acuáticas, su introducción ha sido deliberada para fines productivos y también ha sido derivada accidentalmente de la navegación y de actividades recreativas globalizadas como el acuarismo. Al transporte de esta mercadería peligrosa no se le cobra impuestos y se embarca y desembarca en diferentes partes del mundo sin solicitársele pasaporte para su radicación, generándose efectos negativos para la biodiversidad autóctona y para empresas usuarias de los recursos hídricos, que deben destinar fondos para mitigar sus impactos. De incrementarse este problema, los gastos ocasionados repercutirán indirectamente en el usuario por el incremento de las tarifas de las empresas afectadas -potabilizadoras de agua y de generación hidroeléctrica, por ejemplo.

Para disminuir los daños ocasionados por las especies acuáticas invasoras el problema debería enfocarse desde una óptica de la gestión y manejo integrado de cuenca con una visión ecosistémica y predictiva, considerando la cuenca hidrográfica como una unidad (Tundisi 2000) y profundizando los estudios ecológicos predictivos para ser implantados por los gestores de los recursos hídricos (Clark *et al.* 2001). Respecto de las especies acuáticas exóticas son pertinentes los estudios con desarrollo de mapas de embalses prediciendo la colonización de macrófitas a partir de: características físico-químicas, morfológicas y climatológicas del sistema, de condiciones de las especies vegetales (Neiff *et*

al. 2000), de la identificación de sistemas potencialmente invadidos a partir de características de las especies invasoras (ecosistema receptor y comportamiento de la invasión) (Ricciardi y Rasmussen 1998, Ricciardi 2003, Brugnoli *et al.* 2005), y es pertinente el uso de sensores remotos y sistemas de monitoreo en tiempo real para ser utilizados en modelos predictivos para el manejo de sistemas acuáticos (Tundisi *et al.* 2004). Estos enfoques debieran ser complementados con programas de divulgación de la naturaleza de la problemática y de los efectos ecosistémicos y económicos; con acciones coordinadas, entre instituciones académicas y de gestión, tendientes al manejo de la situación, y del dictado de normativas nacionales, regionales y globales.

Referencias bibliográficas

- Arrivillaga, A. 2002. *Evaluación de la presencia de Hydrilla verticillata en la Región de Río Dulce y Lago de Izabal: Diagnóstico General e Identificación de Medidas de Control*. Informe Técnico. Otecbio-Conap. Guatemala.
- Ashton, P. J. y D. S. Mitchell. "Aquatic plants and modes of invasion, attributes of invading species and assessment of control programmes", en Drake, J. *et al.* 1989. *Biological invasions: a global perspective*. John Willey & Sons. NY.
- Brugnoli, E. *et al.* "Especies acuáticas exóticas en Uruguay: situación, problemática y gestión", en: Menafrá, R. *et al.* en prensa a. *Bases para la conservación y manejo de la costa uruguaya*.
- Brugnoli E. *et al.* "Golden mussel *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) distribution in the main hydrographical basins of Uruguay: update and predictions", en *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 77 (2), 2005.
- Clark, J. S. *et al.* "Ecological forecast: An emergin imperative" en: *Science* 293, 2001.
- Clemente, J. y E. Brugnoli "First record of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in continental waters of Uruguay (Río Negro and Río Yi)", en *Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay* 13, 2002.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 2003. *Estudio de Caso. Presencia de la Especie Exótica Hydrilla verticillata (L.F) Royle en el Sistema Hidrológico del Lago de Izabal y Río Dulce, Departamento de Izabal, Guatemala, América Central*.
- Courtney, W. y C. R. Robins. "Exotic organism: An unsolved, complex problem", en *Bioscience* 25, 1975.
- Darrigran, G. "Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments", en *Biol. Inv.* 4, 2002.
- Darrigran, G. y I. Ezcurra de Drago. "Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America", en *The Nautilus* 114, 2000.
- de Poorter, M. 1999. *Borrador de Guías para la prevención de pérdidas de diversidad biológica ocasionadas por invasión biológica. Cuarta Reunión del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico, Técnico y Tecnológico. Documento de Base. Unión Internacional para la Naturaleza*.

- Duarte, C. M., D. Planas y J. Peñuelas. "Macrophytes, taking control of ancestral home", en Margalef, R. 1994. *Limnology now: A paradigm of planetary problems*. Amsterdam.
- Dukes, J. S y H. A. Mooney. "Does global change increase the success of biological invaders?" en *Tree* 14, 1999.
- García-Rodríguez, F. et al. "Paleolimnological assessment of human impact in Lake Blanca SE Uruguay", en *Paleolimnol.* 28, 2002.
- González, E. 2004. *Lemna en el Lago de Maracaibo (Venezuela)*. En <http://rele.fcien.edu.uy>
- Haller, W. T. 2002. *Hydrilla en el Lago de Izabal, Guatemala. Estado Actual y Perspectivas futuras*. USAID, Guatemala. Informe de la Universidad de Florida.
- Hayes, K. et al. "Sensitivity and cost considerations for the detection and eradication of marine pest in ports", en *Mar. Poll. Bull.*, en prensa.
- Howard, G. 1999. *Especies invasoras y humedales*. Ramsar COP7 DOC. 24.
- Kowarik, I. "Biological invasions as result and vector of global change", en Hein, D. et al. 2001. *Contributions to Global Change Research. German Global Change Research*. Bonn.
- Larrea, D. 2002. *Establecimiento, biomasa y rol de Egeria densa Planch. en un lago utilizado para suministro de agua potable*. Pasantía final de Licenciatura Ciencias Biológicas- Facultad de Ciencias.
- Mansur, M. C. et al. "Primeiros dados quali-quantitativos do "mexilhao dourado", *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), no lago Guaíba, Bacia da laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente", en *Revista Brasileira de Zoologia*, 22 (1), 2003.
- Mansur, M. C. et al. "Uma retrospectiva e mapeamento da invasão de espécies de *Corbicula* (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea, Corbiculidae) oriundas do Sudeste Asiático, na América do Sul", en Silva y Souza. 2004a. *Agua de lastro e bioinvasão*. Interciencia. Río de Janeiro.
- Mansur, M. C. et al. "Prováveis vias a introdução de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na Bacia da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul e Novos Registros de invasão no Brasil pelas Bacias do Paraná e Paraguai", en Silva y Souza. 2004b. *Agua de lastro e bioinvasão*. Interciencia. Río de Janeiro.
- Mazzeo, N. et al. "Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo", en Domínguez y Prieto. 2002. *Perfil Ambiental del Uruguay*. Coord. Nordan Com. Uruguay.
- Mazzeo, N. et al. "Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish", en *Hydrobiol.* 506-509, 2003.
- Morton, B. 1977. *Freshwater fouling bivalves. Proceed. First International Corbicula Symposium. Texas Univ.*
- Muniz, P., J. Clemente y E. Brugnoli. "Benthic invasive pests in Uruguay: a new problem or an old one recently perceived?", en *Mar. Poll. Bull.* aceptado.
- Neiff, J. J. et al. "Prediction of colonization by macrophytes in the Yaciretá Reservoir of the Paraná river (Argentina and Paraguay)", en *Rev. Bras. Biol.* 60, 2000.
- Oficina Técnica de Biodiversidad. 2002. *Estudio Hidrográfico del Lago de Izabal y El Golfete, un enfoque hacia el manejo de Hydrilla verticillata*. Informe técnico.
- Pimantel, D. et al. "Environmental and economics cost of nonindigenous species in the United States", en *Bioscience* 50, 1999.
- Ricciardi, A. y J. B. Rasmussen. "Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management", en *Can J Fish Aquat Sci.* 55, 1998.
- Ricciardi, A. "Predicting the impacts of an introduced species from its invasion history: an empirical approach applied to zebra mussel invasion", en *Freshw Biol.* 48, 2003.
- Rodríguez, G. "The Maracaibo System, Venezuela", en Seeliger y Kjerfve. 2001. *Coastal Marine Studies of Latin America*. Ecological Studies Vol 144.
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Straskraba, M. y J. G. Tundisi. 2000. *Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. Gerenciamento da qualidade da água de represas*. ILEC, IIE. Brasil.
- Tundisi, J. G. *Regional approach to river basin management in the La Plata: an overview in Environmental and Social dimensions of reservoir development and management in the La Plata river basin 1994*. UNCRD. Research Report. N° 4. Japón.
- Tundisi, J. G. 2000. *Limnologia no século XX: Perspectivas y desafios*. IIE. Brasil
- Tundisi, J. G. et al. "The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables", en *Rev. Bras. Biol.* 64, 2004.
- Williamssons, M. 1996. *Biological Invasions*. Champan & Hall. London.

Agradecimientos

A Lorena Rodríguez y Guillermo Chalar (Sección Limnología, Facultad de Ciencias), Janine Mendoza (Departamento Calidad de Agua, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Venezuela), Ernesto González (Universidad Central de Venezuela) y Ricardo Valverde (Tribunal Centroamericano del Agua, Costa Rica) por sus colaboraciones y sugerencias que permitieron mejorar el presente trabajo.