



XII Firma
2023 online



**XII Foro
Iberoamericano
de los
Recursos Marinos
y la Acuicultura**

Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos
y la acuicultura en el marco de la economía azul

XII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura

*Por la sostenibilidad de los recursos acuáticos y
la acuicultura en el marco de la economía azul*

Juan Manuel Afonso
Manuel Rey-Méndez, Nieves González-Henríquez,
Marcos de Donato, Edgar Zapatas-Vívenes
Paul Martín Baltazar Guerrero, José Javier Alió Mingo,
César Lodeiros

Esta obra se debería citar como:

Todo el libro:

Afonso, J. M., Rey-Méndez M., González-Henríquez N., De Donato M., Zapata-Vívenes E., Baltazar-Guerrero P. M., Alió Mingo J.J., Lodeiros C. 2024. XII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura: Fortaleciendo los objetivos de desarrollo sostenible para la pesca y la acuicultura. Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canaria, España, 1086 pp.

Trabajo:

Coelho P., Khemiri S., Figueira D., Sousa I., Raymundo A. (2024) Incorporation of *Chlorella vulgaris* in mayonnaise - a sustainable and healthy strategy Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. 12: 480-477.

Nota de los editores:

Los manuscritos en extenso suponen memorias de los trabajos presentados en el XII FIRMA 2023 *online* y han sido revisados por el comité editorial del libro. Las opiniones y manifestaciones científicas en los artículos, construcción gramatical, así como el estilo, particularmente en la forma de exposición de autores, referencias y usos de símbolos, se respetaron para su publicación y son responsabilidad de los autores, quienes tienen también todo el derecho sobre ellos para su publicación por otras vías, incluyendo revistas científicas.

Composición gráfica y arte final

Marycruz García-González

garcia.marycruz@gmail.com

ISBN: 978-84-09-63680-8

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12576211>

La presente obra tiene una licencia *Creative Commons*. Todo usuario es libre de compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente los contenidos bajo las siguientes condiciones:



CC-BY Atribución: debe reconocer los créditos de cada uno de los contenidos de la manera especificada por el licenciente.

NC No comercial: obliga a que la obra no sea utilizada con fines comerciales.

SA Obras derivadas: permite obras derivadas bajo la misma licencia o similar.

Bioinvasores: efectos e impactos en América del Sur

Bioinvaders: effects and impacts in South America

Gustavo Darrigran^{1,2}, Rodolfo Elias³,
Jaubet María Lourdes³, Lucas Rieger de Oliveira⁴,
Ximena Maria Constanza Ovando⁴, Simone Jaqueline Cardoso^{4,6},
Carlos Eduardo Belz⁵, Alfredo Vilches¹

¹Departamento de Ciencias Exactas y Naturales. Laboratorio de Investigación e Innovación en educación en Ciencias Exactas y Naturales (LIIECEyN, IdIHCS). Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina.

²CONICET. Museo de La Plata, FCNyM-UNLP. La Plata, Argentina.

³Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, IIMyC – UNMdP. Dean Funes 3350, 7600 - Mar del Plata, Argentina

⁴Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

⁵Universidade Federal do Paraná. Centro de Estudos do Mar. Laboratório de Ecologia Aplicada e Bioinvasões – LEBIO. Panamá.

⁶Graduate Program in Biodiversity and Nature Conservation, Institute of Biology, Federal University of Juiz de Fora, Juiz de Fora 36036-900, MG, Brazil

Correspondencia Gustavo Darrigran  invasion@fcnym.unlp.edu.ar

Palabras clave |

Macroinvertebrados, Vectores, invasiones biológicas, modelos, pérdida de biodiversidad, educación.

RESUMEN |

En la actualidad, el ritmo de pérdida de la biodiversidad resulta significativo. La modificación del hábitat y el establecimiento de especies no nativas invasoras son dos importantes causas de esta pérdida. Las especies no nativas están muy extendidas por América del Sur, sin embargo, el estado y la distribución de algunas de estas especies aún no está claro (a excepción del grupo moluscos). La información explicitada en nuestro estudio, a través de cinco puntos de vista sobre el tema especies no-nativas/especies invasoras, colaboran en identificar áreas susceptibles de invasión de especies no-nativas en América del Sur y apoyar la gestión y toma de decisiones locales y regionales de las especies ya detectadas.

Keywords |

Macroinvertebrates,
 Vectors,
 biological invasions,
 models,
 loss of biodiversity,
 education

ABSTRACT | Currently, the speed of biodiversity loss is significant. Habitat modification and the establishment of invasive non-native species are two important causes of this loss. Non-native species are widespread throughout South America, however, the status and distribution of some of them is still unclear (with the exception of mollusks). The information of our study presents five points of view on non-native/invasive species, collaborates in identifying susceptible areas to invasion of non-native species in South America and helps local and regional management and decision-making on the species already detected.

INTRODUCCIÓN

Si bien la humanidad es consciente de la severa crisis que atraviesa la biodiversidad del planeta, la importancia que esta tiene para el funcionamiento de los ecosistemas y la prestación de servicios que benefician el bienestar humano (Torres *et al.* en prensa), parece existir en las sociedades una incapacidad de controlar a una serie de factores que actúan desestabilizando el dinámico equilibrio existente en el componente biológico de la biodiversidad (variedad de especies, variabilidad genética y ecosistémica) y que afecta a los otros cuatro componentes de la biodiversidad (económico-política, filosófica, sociocultural y educativa), según el concepto planteado por Castro, *et al.* (2021). Como ejemplos de estos factores, se destacan entre otros, uso no sustentable de la tierra, contaminación, sobreexplotación de recursos y, si bien estos factores no están en orden de jerarquía, entre los primeros en importancia, se ubican las invasiones biológicas o bioinvasiones (Darrigran, *et al.* 2023). Además, el éxito invasor de estas especies no-nativas se encuentra favorecido por impactos ocasionados por los otros factores, como por ejemplo el cambio climático (Miyahira, *et al.* 2022).

Las bioinvasiones, están conformadas por especies no-nativas (Tabla 1) traídas en forma intencional o no por la humanidad, lo cual les permitió superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural y que, una vez establecidas en el nuevo ecosistema, se dispersan y generan un impacto en el ambiente natural y efectos en ambientes artificiales (Figura 1) (Darrigran, *et al.* 2022).

Tipo de especies

Especie nativa. Especies que viven dentro de su área de distribución natural o dentro de un área a la que han llegado sin intervención humana.

Especies no-nativas. Especies cuya presencia en una región es atribuible a las actividades humanas, que les permiten superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural.

Especies no-nativas invasoras. Especies exóticas que lograron establecerse, que se dispersan y generan un impacto en los ecosistemas, en las especies locales y, potencialmente, efectos en poblaciones humanas.

Tabla 1. Definiciones tomadas de IPBES (2023)

Tipo de especies	
Especie nativa	Especies que viven dentro de su área de distribución natural o dentro de un área a la que han llegado sin intervención humana.
Especies no-nativas	Especies cuya presencia en una región es atribuible a las actividades humanas que les permiten superar las barreras naturales que definían su rango de distribución natural.
Especies no-nativas invasoras	Especies exóticas que lograron establecerse que se dispersan y generan un impacto en los ecosistemas, en las especies locales y, potencialmente, efectos en poblaciones humanas.



Figura 1. Impactos ambientales y efectos de las especies invasoras sobre la sociedad

Los efectos e impactos de las especies invasoras evidencian la falta de estrategias de gestión eficaces para controlar su propagación y mitigar sus impactos en la biodiversidad nativa (de Lucía *et al.* 2023).

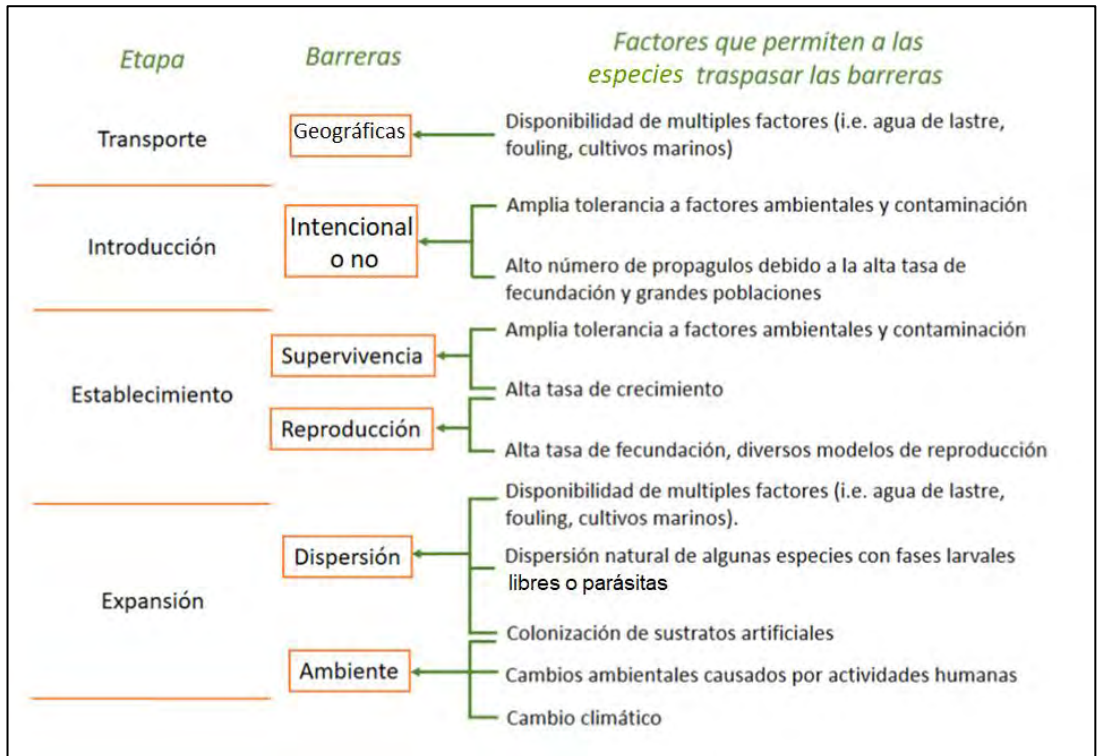
Como se mencionó en párrafos anteriores, la propagación de especies no-nativas, donde algunas pueden transformarse en invasoras al cubrir algunas o todas de una serie de características necesarias (véase Tabla 2), se encuentra facilitada por la globalización (Böhm, *et al.* 2021), es decir, la integración de las economías de todo el mundo, especialmente a través del comercio.

Tabla 2. Características de especies acuáticas invasoras (Morton, 1996)

1.- un corto período de vida (ej.: 2 – 3 años)	6.- euritopicos (amplio rango tolerancia fisiológica)
2.- rápido crecimiento individual	7.- comportamiento gregario
3.- rápida madurez sexual (generalmente dioicos, con pocos casos de hermafroditismo)	8.- asociación de algún tipo con actividades humanas (recurso alimentario, transporte, etc.)
4.- alta fecundidad	9.- amplia variabilidad genética
5.- eurioicos (capacidad de colonizar un gran rango de hábitat)	10.- alimentadores de suspensión

Según cita Matschke (2020) las estadísticas sobre especies no-nativas y especies invasoras permitió establecer la regla del 10 de Williamson, planteada por Elton *et al.* (2007). Esta regla se basa en que las bioinvasiones son un proceso, compuesto por varias etapas (Tabla 3), mediante la cual se mide el éxito del pasaje de una etapa a la siguiente y que, para este autor, ha sido estimada en un promedio del 10%, es decir uno de cada 10 no-nativos logra liberarse en el medio natural, uno de cada 10 de estas especies no-nativas logra establecerse en el nuevo ecosistema y una de cada 10 poblaciones de estas especies, se transforma en invasora. Esta no es una regla matemática y el número de individuos y la frecuencia de introducciones de especies no-nativas, pueden afectar esta proporción de éxito (Simberloff *et al.*, 1997).

Tabla 3. Etapas y barreras que las especies no-nativas deben superar para establecerse y expandir su rango de distribución en las regiones donde son introducidas (modificado de Zhan *et al.* 2015).



En el período de globalización que el planeta atraviesa, el transporte de mercancías y personas a través de las fronteras internacionales ha provocado una alta presión de propágulos de las especies no-nativas (Darrigran *et al.* 2020), como lo evidencia el hecho que aproximadamente 3.000 especies de organismos son transportadas por agua de lastre, por día, por todo el mundo (Carlton and Geller, 1993).

Asimismo, el ingreso de especies no-nativas en este período de globalización, se ve favorecido además por otro factor, como es el cambio climático (Figura 2), que provoca impactos a nivel global, que favorece en la competencia entre estas especies no-nativas con las nativas debilitadas por ese impacto sumada a que las

no-nativas, ya que cumplen con algunas o todas de las características señaladas en la Tabla 2.

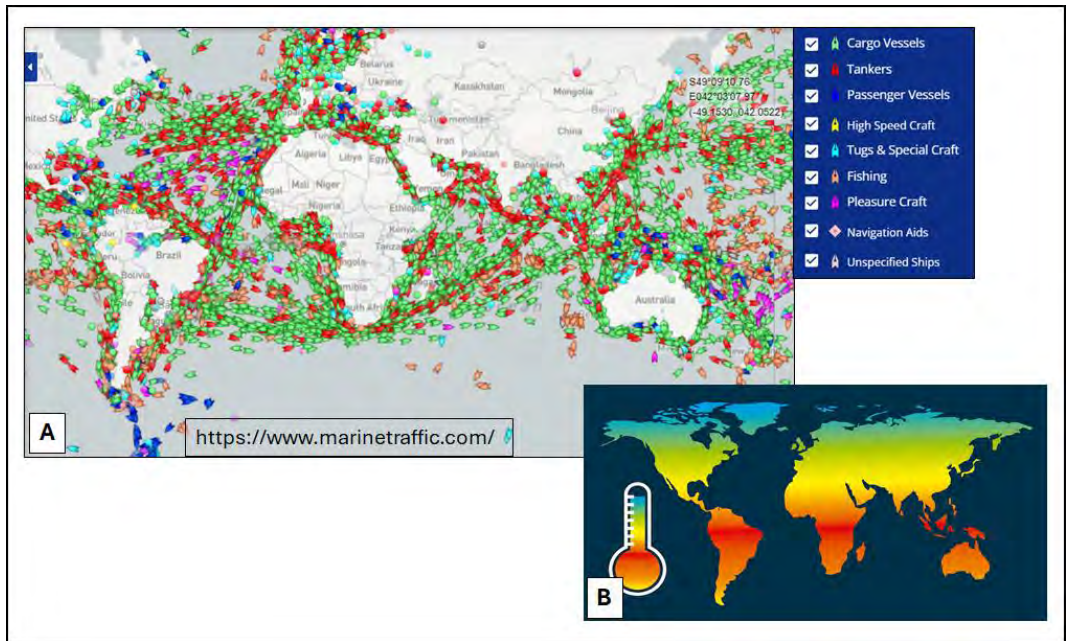


Figura 2. Facilitadores de especies no-nativas. A.- Comercio Global. Servicios de datos de tráfico marítimo (<https://www.marinetraffic.com/>). B.- Cambio Climático. Esquema temperatura global

En este trabajo, especialistas en distintos campos de acción que han realizado exposiciones en la “Sección 4: Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur”, ejemplifican impactos y efectos que ocasionan algunas de las especies no-nativas/invasoras en este continente. Si bien estos ejemplos son base para la gestión de especies no-nativas e invasoras, que se deberían considerar no solo en el campo de la biología, sino también el social (Castro, *et al.*, 2021; Bortolus and Schwindt, 2022), evidenciando una carencia en este sentido por parte de los funcionarios de turno encargados en la gestión de esta problemática socio/ambiental como son las bioinvasiones.

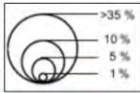
RESULTADOS

“Moluscos Introducidos de América del Sur” (eMIAS)

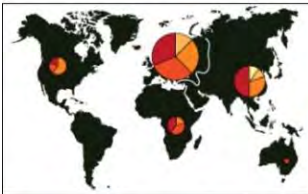
Gustavo Darrigran

El eMIAS, es un grupo creado en el 2016, que reúne a 29 investigadores de siete países sudamericanos, para establecer una identidad de base colaborativa que tiene como objetivo generar conocimiento para prevención, control de las especies no-nativas/bioinvasoras de moluscos en América del Sur (<https://emiasgroup.wixsite.com/emias>), y que sirva de base para las instituciones que gestionan este problema ambiental en América del Sur. Los objetivos del eMIAS, se detallan en la Figura 3 A, B, C y D.

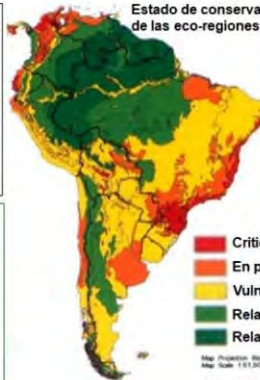
Por su parte, hasta el 2023, el eMIAS ha realizado tres trabajos científicos, en revistas internacionales de primer nivel académico: Darrigran, *et al.* (2020); Darrigran, *et al.* (2022); Carranza *et al.* (2023). En los mismos se ha desarrollado temas como, moluscos no-nativos en América del Sur; exploración de los moluscos trasplantados en América del Sur; impactos y efectos de los moluscos no-nativos y trasplantados en América del Sur.



El tamaño de los círculos indica el porcentaje de especies no-nativas según su origen. Los colores indican fecha de introducción en intervalos de 50 años



Estado de conservación de las eco-regiones




A

Objetivos:

Generar un registro de moluscos no-nativos en América del Sur

Se han reconocido 86 especies de moluscos no-nativos establecidos en América del Sur:

- 56 especies que pertenecen al medio terrestre, de las cuales cinco se determinaron como criptogénicas, en 109 eco-regiones terrestres
- 16 especies dulceacuícolas, en 52 eco-regiones de agua dulce
- 14 especies presentes en el medio marino, en 28 eco-regiones marinas


B

Objetivos:

Generar un registro de moluscos no-nativos en América del Sur

Establecer ocurrencias, región nativa, vectores y fecha d introducción

Relacionar la información + estado de conservación de las eco-regiones + grado de urbanización



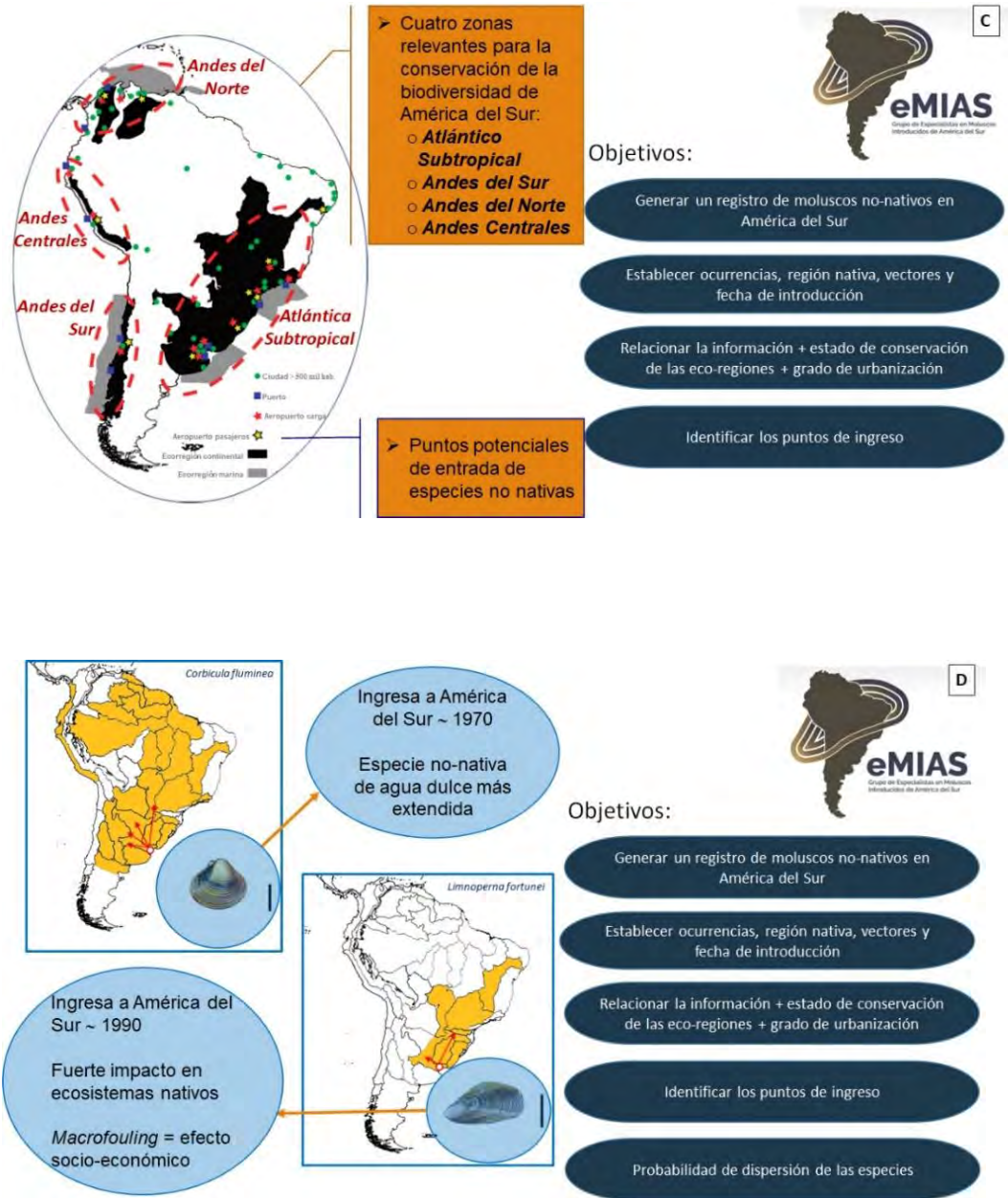


Figura 3. A B, C y D. Objetivos del eMIAS y resultados alcanzados. Datos tomados de Darrigran et al. (2020)

Poliqueto invasor vs ingeniero ecosistémico Elias, Rodolfo y Jaubet María Lourdes

Trabajos desarrollados sobre este tema por Rodolfo Elias y María Lourdes Jaubet, fundamentan esta interacción, poliqueto invasor y el ecosistema invadido, en el litoral marino de Buenos Aires.

Es difícil suponer o imaginar que un poliqueto de unos pocos centímetros de longitud pueda competir exitosamente con un bivalvo mitílido en las costas del Atlántico sudoccidental, que actúa como un ingeniero ecosistémico, debido a que tiene la capacidad de regular, directa o indirectamente, la disponibilidad de recursos al cambiar la estructura física, la complejidad y la heterogeneidad del ambiente (Gutiérrez y Jones, 2006).

Las costas de Argentina están dominadas en su sector intermareal de sustrato duro por bivalvos mitílidos. En la Provincia de Buenos Aires *Brachidontes rodriguezii* (d'Orbigny, 1842) forma densas camas, siendo el organismo dominante, albergando muchos organismos asociados sobre y dentro de la matriz multiestratificada de bivalvos.

Originalmente la comunidad fue descrita ocupando todo el sector entre mareas (Olivier *et al.*, 1968), debido a la falta de un cinturón de cirripedios en la parte alta, como suele describirse en la zonación universal de sustratos duros. Ya en la década de 1970 se evidenció el ingreso de cirripedios en el puerto de Mar del Plata, donde cerca de la boca del Puerto se registró una comunidad de *Brachidontes* pauperizada por efectos de la contaminación (Bastida, 1971). Los primeros cirripedios intermareales invasores, *Balanus amphitrite* Darwin, 1854, fueron luego desplazados al submareal por el ingreso y explosión demográfica de otro cirripedio, oriundo del Océano Pacífico norte, *B. glandula* (Vallarino y Elías, 1997). Rápidamente este organismo se dispersó fuera del puerto y compitió por el espacio con *Brachidontes rodriguezii*, desplazándolo de los sectores más altos del intermareal, constituyendo finalmente el cinturón de cirripedios que caracteriza, ahora sí, a todos los intermareales de sustrato duro (Llanos *et al.*, 2019). Esta fue la primera invasión de organismos invasores en el intermareal de sustrato duro del área de Mar del Plata registrados.

La comunidad epilítica intermareal fue también estudiada como indicador del impacto ambiental debido a las descargas cloacales. Inicialmente en la localidad de Necochea-Quequén (López Gappa 1990; 1993), y luego en Mar del Plata (Vallarino, 2002; Vallarino *et al.*, 2002).

La zona de descarga del efluente de las aguas servidas de Mar del Plata se ubicaba a 9 km al norte de la ciudad sobre el intermareal, y fue regularmente estudiada para evaluar el grado de deterioro a través del estudio de la comunidad intermareal. En 2008, al poco tiempo de comenzar las obras de defensa costera de lo que sería el emisario submarino de aguas servidas de la ciudad, se detectó una masiva formación de arena que cubría gran parte del sector intermareal (Figura 4). En realidad, se trataba de una masiva formación de tubos de poliquetos, en tal densidad que se podía caminar sobre ellos. En ese momento la densidad registrada llegó a 650.000 ind.m² (Jaubet *et al.*, 2011). Por sus características, a estas estructuras se las denominó arrecifes, ya que constituían una formación que sobresalía del sustrato, alterando la dinámica del agua y de los sedimentos. Una especie formadora de arrecifes debe crear una estructura que consista en la acumulación de individuos que se eleven, usualmente, del fondo del mar y formen un hábitat discreto y sustancial, diferente al circundante. Esta estructura podría estar formada enteramente por los organismos y sus tubos o valvas, o bien podría formarse por sedimentos, piedras y conchillas unidas por secreciones que producen los mismos organismos (Holt *et al.*, 1998).



Figura 4. Fotografía del sitio de muestreo 1.000 m al sur del efluente de aguas servidas de la ciudad de Mar del Plata cubierto con el arrecife del poliqueto invasor *Boccardia proboscidea*. Arriba a la izquierda se observa parte de la escollera, obra de defensa del futuro emisario submarino de la ciudad. Foto tomada de Jaubet *et al.*, 2011.

Tal fue el impacto visual, que el laboratorio de Bioindicadores Bentónicos (UNMdP – IIMyC) comenzó un estudio conducente a una tesis doctoral: “*Boccardia proboscidea* Hartman, 1940, un poliqueto invasor en el Atlántico Sudoccidental y su efecto sobre la comunidad bentónica intermareal”. Ese trabajo permitió entender el proceso de sucesión en sitios impactados por la descarga de aguas servidas de la ciudad de Mar del Plata y sitio de referencia, no contaminados (Figura 5), y determinar la interacción entre el poliqueto invasor y el ingeniero ecosistémico.

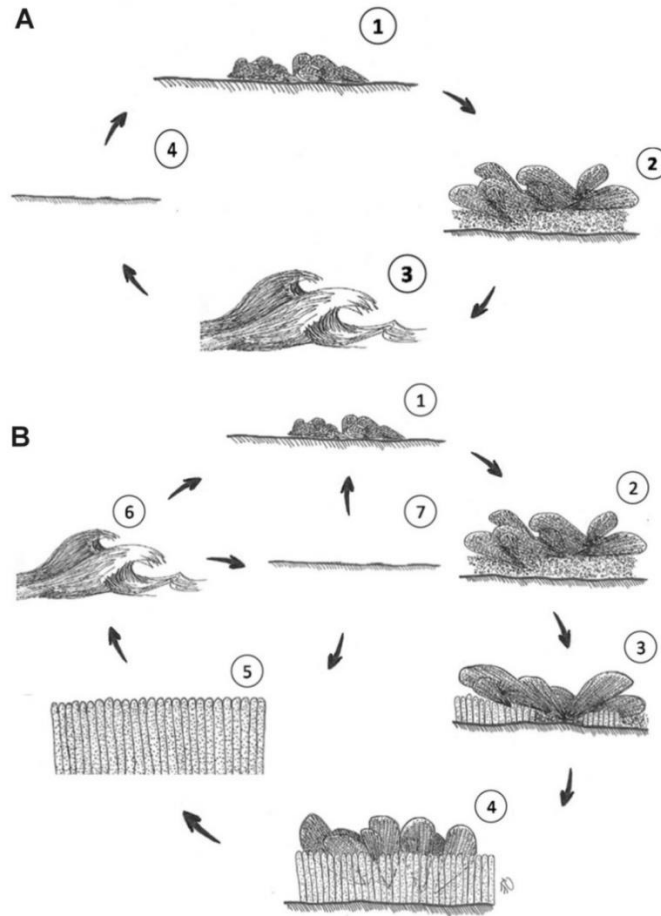


Figura 5. A: Proceso de sucesión de la comunidad epilítica de *Brachidontes rodriguezii* en sitios no impactados. 1) Etapa inicial, con el sustrato cubierto por una incipiente comunidad, caracterizada por pequeños bivalvos, 2) Comunidad multiestratos, con bivalvos de varias generaciones y gran acumulación de sedimento intersticial, entre los bivalvos y entre los bivalvos y el sustrato, 3) tormenta (disturbio ambiental), 4) sustrato desnudo. **B:** Proceso sucesional de la comunidad epilítica de *Brachidontes rodriguezii* en sitios impactados por descargas de aguas servidas. 1) etapa inicial, con el sustrato cubierto por una incipiente comunidad, caracterizada por pequeños bivalvos, 2) Comunidad multiestratos, con bivalvos de varias generaciones y gran acumulación de sedimento intersticial, entre los bivalvos y entre los bivalvos y el sustrato, 3) larvas y juveniles de *Boccardia proboscidea* se asientan y construyen sus tubos entre los bivalvos, 4) Desarrollo masivo de la población del poliqueto *B. proboscidea* entre los bivalvos; debido a esto, los bivalvos toman una posición vertical tratando de evitar ser sofocados, 5) Formación de arrecifes con exclusión de bivalvos, 6) Tormenta (disturbio ambiental), 7) Sustrato desnudo (Figura modificada de Jaubet, 2013).

El éxito de la colonización, expansión e invasión de esta especie podría deberse a que su reproducción incluye protección de la puesta dentro del tubo, presencia de huevos "nurse" (huevos nutricios) y una reproducción continua con poecilogonía, es decir, con producción de formas larvales planctónicas y juveniles bentónicos (desarrollo directo). Esta estrategia reproductiva explicaría el posible mecanismo que, junto con el aporte continuo de materia orgánica, propició el desarrollo de los arrecifes (Jaubet *et al.*, 2015).

Otros estudios complementarios (Elías *et al.* 2015; Llanos *et al.*, 2021) mostraron que las diferencias Antes/Después de la invasión del poliqueto están dadas principalmente por la presencia y ausencia de dos especies, el bivalvo *Brachidontes rodriguezii* y el poliqueto *Boccardia proboscidea*. El ingeniero ecosistémico *B. rodriguezii* fue responsable de más del 50% de la diferencia debido a su significativa disminución. También contribuyeron a las diferencias Antes/Después *B. proboscidea* (el invasor) y la desaparición de las otras especies de *Boccardia* spp. Otro cambio significativo está dado por la composición de la comunidad epilítica. En el trabajo de Vallarino (2002) se mencionaron 43 especies acompañantes, pero el 98 % de los individuos pertenecían a sólo 13 especies, sin embargo, en el estudio posterior a la invasión del poliqueto sólo 6 especies fueron responsables del 98 % de los individuos.

Boccardia proboscidea, considerado una "peste" en Australia, también se distribuyó a lo largo de la costa de Argentina. Un estudio de monitoreo espacial confirmó que *B. proboscidea* se encuentra en latitudes de 37°S a 47°S (desde Mar de Cobo hasta Puerto Deseado). Como se mencionó anteriormente, la naturaleza oportunista (estrategia r) de *B. proboscidea* sumada a un suministro continuo de materia orgánica puede indicar el mecanismo que ha llevado al éxito de su introducción en nuevas localidades. La mayor abundancia de esta especie se encontró en sitios con sustrato duro y con descarga de efluentes de aguas residuales intermareales como Quequén y Comodoro Rivadavia, desplazando a los bivalvos ingenieros ecosistémicos (Jaubet *et al.*, 2018) (Figura 6).

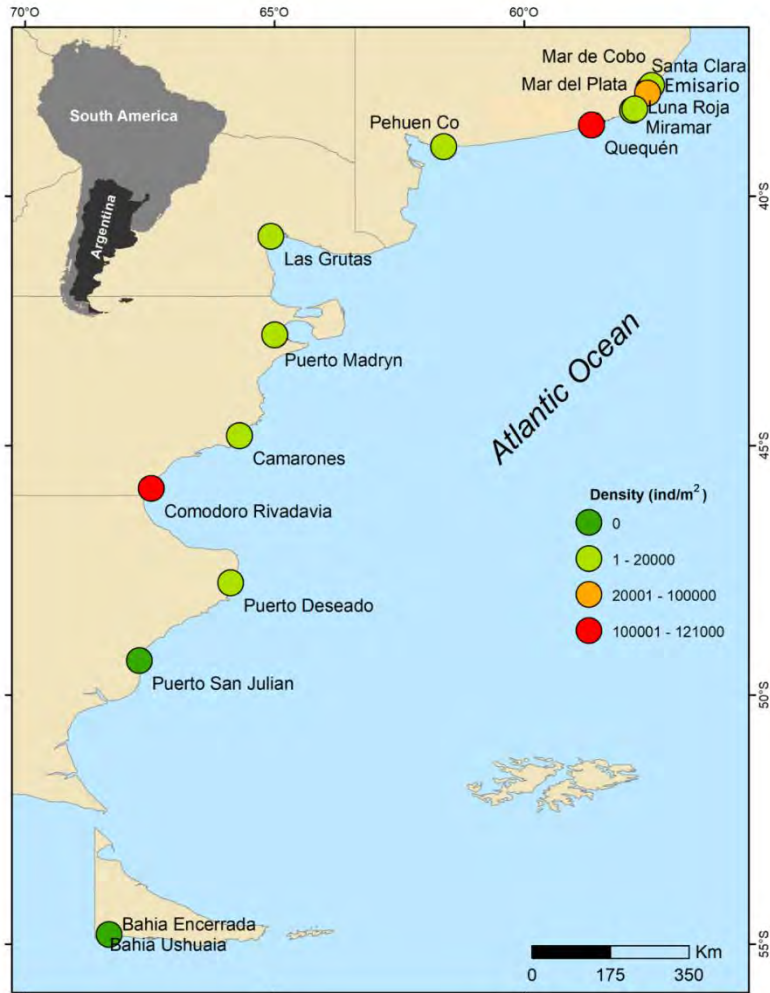


Figura 6. Mapa de la costa argentina mostrando la distribución y abundancia del poliqueto invasor, *Boccardia proboscidea*. Modificado de Jaubet et al. 2018.

En resumen, un poliqueto invasor pudo desplazar competitivamente a un ingeniero ecosistémico (*B. rodriguezii*) y al mismo tiempo definirse como un auto-ingeniero ecosistémico, ya que genera un hábitat tridimensional que sólo él habita, desplazando a todas las especies presentes en el área (Elías et al., 2015). Estas bio-construcciones brindaron hábitat para unos pocos invertebrados infaunales bentónicos, sólo unos pocos poliquetos pertenecientes a las familias

Nereididae (*Alitta succinea* (Leuckart, 1847) y Syllidae (*Syllis prolixa* Ehlers, 1901, *Syllis* cf. *gracilis* Grube, 1840) fueron encontrados en muy baja densidad. Algunos crustáceos como anfípodos *Monocorophium insidiosum* (Crawford, 1937) también aparecieron como habitantes ocasionales de los arrecifes (Jaubet, 2013; Sánchez, 2014).

El éxito de *Boccardia proboscidea* se basa en su estrategia reproductiva (presencia de dos tipos de reproducción simultánea, producción de larvas planctónicas y juveniles bentónicos de desarrollo directo) y en su altísima tasa de crecimiento. Sin embargo, el desplazamiento del ingeniero ecosistémico por parte del poliqueto invasor tiene que estar mediado por un efecto significativo sobre la comunidad dado por descargas cloacales.

Este fenómeno de desplazamiento fue episódico, y al desaparecer la fuente directa de alimentación (la descarga cloacal) el ecosistema se restablece en un nuevo equilibrio (Llanos *et al.*, 2021; Jaubet *et al.*, 2024).

DECÁPODOS NO-NATIVOS EN AMÉRICA DEL SUR:

Evaluación de Riesgos e Impactos Potenciales

Lucas Rieger de Oliveira, Ximena Maria Constanza Ovando, Simone Jaqueline Cardoso

A través de una investigación en conjunto, Ximena Ovando expone una síntesis sobre las especies no-nativas de crustáceos decápodos en América del Sur.

La introducción de especies invasoras tiene impactos negativos sobre los ecosistemas y la fauna local (Oliveira *et al.*, 2023). Los datos actuales sugieren que la introducción de especies exóticas es la segunda causa que amenaza de extinción a la biodiversidad (Vitousek *et al.*, 1996; Strayer, 2010). En los hábitats de agua dulce, el rápido desarrollo de la acuicultura mundial, basado en especies invasoras, ha sido el principal responsable de un aumento significativo de las introducciones masivas de especies exóticas en los últimos años (Welcomme, 1988). Las razones para que especies de plantas y animales se encuentren fuera de su ámbito de distribución natural son diversas; sin embargo, la mayor parte de los movimientos de ejemplares de especies hacia nuevas regiones se ha hecho

considerando únicamente los beneficios para las poblaciones humanas, sin considerar los posibles efectos ecológicos adversos (Segura, 2005).

La biodiversidad acuática de las aguas continentales útil para los humanos incluye plantas, peces, anfibios, reptiles, moluscos, crustáceos e incluso insectos. Las comunidades acuáticas a lo largo del mundo están siendo alteradas por la introducción de peces y otras especies exóticas, con la intención de incrementar la pesca comercial y deportiva. La introducción de estas especies puede causar graves daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, provocar desequilibrios ecológicos entre las poblaciones silvestres, generar cambios en la composición de especies y en la estructura trófica (Strayer, 2010). Así mismo, puede inducir el desplazamiento de especies nativas, pérdida de especies, reducción de la diversidad genética y transmisión de una gran variedad de enfermedades como plagas agrícolas y forestales.

La FAO (2022) mantiene un registro de especies exóticas en el que se refleja que más de 379 especies han atravesado fronteras internacionales y que estos cambios han proporcionado algunos beneficios, pero también han causado grandes impactos en las especies nativas de las áreas donde fueron trasladadas. Varios estudios con macro y microcrustáceos han demostrado que el potencial invasor de estas especies ha aumentado debido a una asociación de factores que involucran interferencia antropogénica y cambio climático. (Capinha *et al.*, 2011; Bellard *et al.*, 2013; Mantovano *et al.*, 2021). Entre los crustáceos, los decápodos llaman la atención por su diverso uso, especialmente culinario (Susanto, 2021). Existe un alto interés económico en invertir en criaderos de crustáceos en países en desarrollo como Brasil y otros países de América del Sur, lo que es una advertencia para la introducción de estas especies en ambientes fuera de su distribución natural.

Entre las especies no nativas ampliamente distribuidas, sus impactos en la comunidad de especies nativas son bien conocidos. Entre estas se encuentran, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) nativo de la región centro-sur de los Estados Unidos y Nordeste de México (Loureiro *et al.*, 2015) y *Macrobrachium rosenbergii* Man, 1879, nativo de las regiones tropicales y subtropicales del Indo-Pacífico, con registros confirmados en varios países del sur y sudeste asiático. *Procambarus clarkii*

es considerada una de las especies de crustáceos más invasoras del mundo, y su introducción fuera de su entorno natural ha sido principalmente para fines comerciales en la acuicultura o como mascota. Las especies *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) endémico de América del Sur y *M. amazonicum* (Heller, 1872) nativa de la Cuenca del río Amazonas, fueron trasplantadas para servir como alimento para algunas especies de peces previamente introducidas en tanques y embalses de cultivo en diferentes países de América del Sur, mientras que el trasplante de *Dilocarcinus pagei* Stimpson, 1861 en otras regiones de América del Sur es tal vez accidental, a través del transporte de peces y macrófitos. Este movimiento, poco estudiado, de especies hacia nuevas áreas dentro de la misma región biogeográfica se conoce como “trasplante” (Darrigran *et al.*, 2022).

En los últimos años se ha generalizado una nueva herramienta que permite analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia de organismos: los modelos de distribución de especies basados en cálculos estadísticos y usando datos cartográficos de presencia (latitud y longitud) permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales. Los datos de colecciones de historia natural pueden ser utilizados para este fin adquiriendo así una nueva utilidad. Los modelos han evolucionado desde su aplicación a especies aisladas hasta análisis de cientos o miles de taxones para combinarlos en el análisis de la biodiversidad y riqueza específica. Los objetivos de este estudio fueron (i) modelar los nichos ecológicos de tres especies de trasplante de decápodos de agua dulce en América del Sur: *D. pagei*, *M. amazonicum*, *M. jelskii* y dos especies no nativas *M. rosenbergii* y *P. clarkii*; y (ii) determinar el alcance de áreas de hábitat adecuadas para la presencia de esas especies en América del Sur.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de datos

La revisión sistemática de la literatura incluyó el uso de cuatro bases de datos de artículos en las bases de datos: Web of Science, Scopus, Scielo e Aquatic Science and Fisheries Abstract (ASFA). Se eligió la base de artículos de ASFA para esta sección precisamente porque es un nicho de publicaciones centradas en la

ecología acuática y el trabajo con especies de agua dulce. En este sentido, todos los artículos revisados por pares, publicados en cualquier idioma, desde el año 1945 hasta el 29 de enero de 2021. Fueron usadas las siguientes palabras claves: "(Procambarus OR Macrobrachium OR Dilocarcinus) AND (stuar* OR wetland* OR mangrove* OR freshwater OR "aquatic environment" OR "aquatic ecosystem*" OR lake* OR river* OR pond* OR reservoir* OR "drainage basin*" OR lagoon* OR "river basin*" OR stream* OR waterfall* OR watercourse* OR brook* OR creek*)".

De los datos resultantes sobre la presencia de las especies consideradas fueron incluidos aquellos con publicaciones que contenían registro de especímenes con coordenadas geográficas. Las publicaciones que no tenían coordenadas geográficas, pero que describían la ubicación o localidad, fueron separados y posteriormente georreferenciadas mediante *Google Earth*. También fueron usados registros de ocurrencia de cada especie depositados en la base de datos del Fondo Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2022).

Modelado de nicho y selección de variables

Fueron utilizadas variables específicas para ambientes de agua dulce (EarthEnv) con una resolución de 30 segundos (aproximadamente 1 km) y variables bioclimáticas de Worldclim con una resolución de 2.5 arco minutos (5 km). Todas las variables fueron estandarizadas a una resolución de 5km usando el paquete "raster" (Hijmans, 2022) en R, (versión 4.1.2) (R Core Team, 2022). Para el recorte de las variables para América del Sur fueron utilizados los paquetes "tidyverse" (Wickham, 2018) y "rnaturalearth" (South, 2017) dentro del programa R.

La multicolinealidad entre variables se verificó utilizando el Factor de Inflación de Varianza (VIF) en el paquete "USDMM" (Naimi *et al.*, 2014) del programa R. Como el VIF es capaz de determinar la fuerza de la correlación entre variables ambientales, aquellas altamente correlacionadas, fueron excluidos del modelado de nicho, con el umbral de corte predeterminado igual a 10 para evitar la colinealidad en los modelos estadísticos (Naimi *et al.*, 2014). Todas las especies fueron modeladas en su respectiva región nativa y fueron diseñadas para el área de interés, es decir, realizar modelamiento de nicho de *P. clarkii*, inicialmente el modelo se realizó para Norteamérica y se diseñó para Sudamérica. Asimismo, el

modelo de *M. rosenbergii* primero se realizó para el continente asiático y luego se proyectó para Sudamérica.

Los métodos de evaluación del modelo utilizados para el trabajo fueron el AUC (área bajo la curva) de la curva ROC (característica operativa del receptor) y la estadística de habilidad verdadera (TSS). Los valores de AUC oscilan entre 0 y 1, considerándose valores de 0,9-1 excelentes y de 0,8-0,9 buenos. TSS es un método dependiente del umbral y sus valores pueden variar entre -1 y +1, considerándose malos valores positivos que van de 0,2 a 0,5, útiles de 0,6 a 0,8 y valores superiores a 0,8 considerados excelentes (Coetzee *et al.*, 2009, Peterson y Soberón, 2012).

Resultados

La revisión sistemática de la literatura, siguiendo los términos de búsqueda y criterios de inclusión, resultó en 10.850 artículos extraídos de las cuatro bases de datos. Después de eliminar todos los registros duplicados, quedaron 9597 únicos que se exportaron a una tabla Excel. Después de examinar todos los artículos, se excluyeron 8592 artículos porque no cumplían con los criterios de inclusión y 1005 artículos contenían la ubicación de la especie. Se obtuvo un total de 1384 registros únicos con coordenadas, de los cuales, 42 coordenadas correspondieron a *D. pagei*, 213 a *M. amazonicum*, 116 a *M. jelskii*, 105 a *M. rosenbergii* y 908 para *P. clarkii* (Figura 7). Las variables bioclimáticas, hidrológicas, topográficas, caudales, precipitaciones seleccionadas por el VIF para realizar la EMN de cada especie. prec11 (suma de precipitaciones mensuales del mes de noviembre). Las otras variables presentes en al menos cuatro de las cinco especies fueron: min_elev (elevación mínima), BIO18 (precipitación del trimestre más caluroso), hidro2 (variable hidrológica de variación media diaria).

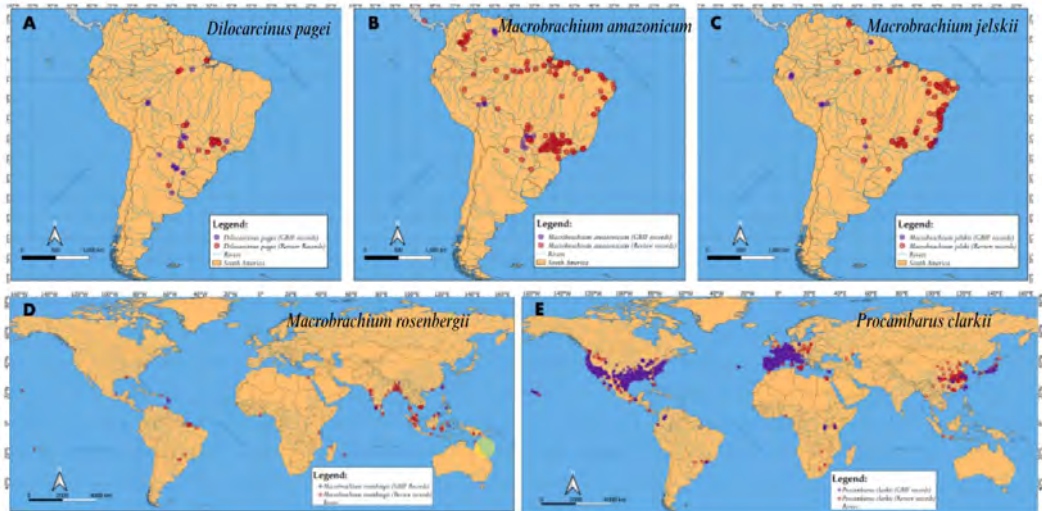


Figura 7. Distribución de las especies de Decapoda en América del Sur (**A, B, C**). Distribución nativa de las especies *M. rosenbergii* y *P. clarkii* (**D, E**). Modificado de Oliveira et al. (2023)

Todos los modelos generados por MaxEnt tuvieron un buen desempeño en base a los valores de AUC y TSS, con valores superiores a 0,9 y 0,7 respectivamente, a excepción de *Dilocarcinus pagei* que presentó un valor de AUC de 0,84. Las áreas de mayor idoneidad se encuentran en la Cuenca del Plata, en territorio brasileño y la porción media de la cuenca Uruguay-Brasil y la cuenca del río Amazonas (Figura 8). En *M. jelskii* el área de idoneidad (Figura 8C) mostró sus áreas de mayor idoneidad cerca de la costa brasileña que corresponde a las cuencas fluviales del Este de Brasil, la Costa Atlántica Sur y Uruguay-Brasil, la costa del Atlántico Sur. Finalmente, los modelos de nicho para *M. rosenbergii* (Figura 2D) y *P. clarkii* (Figura 8E) mostraron un desempeño excelente con las áreas más grandes de idoneidad entre todas las especies. Las zonas de mayor idoneidad se encuentran principalmente en el sur de América del Sur (cuenca del Río de la Plata). Más de 1,9 millones de km² de territorio sudamericano han presentado una idoneidad mayor a 0,75 para *P. clarkii*, mientras que 953.640 Km² de territorio sudamericano es adecuado para *M. rosenbergii*.

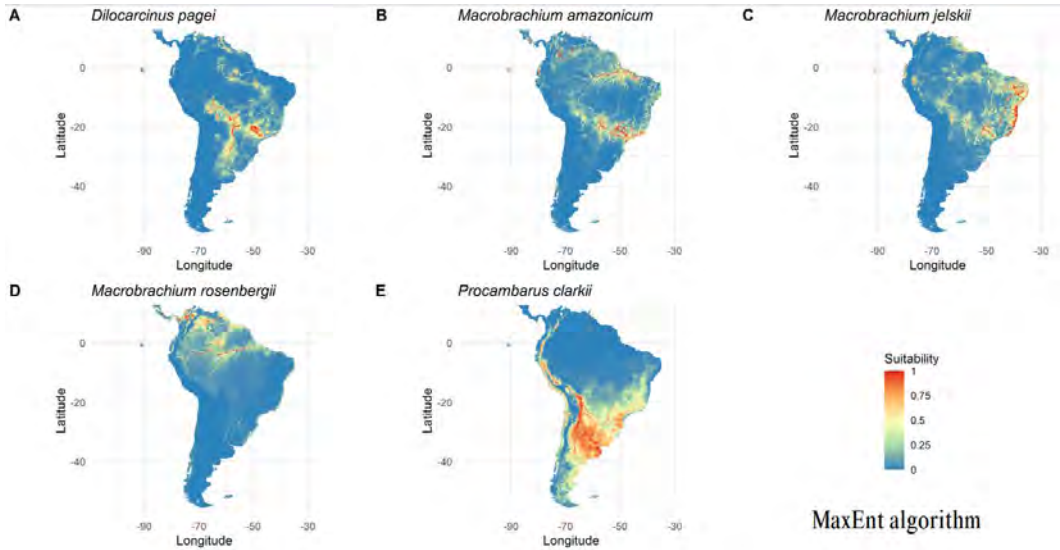


Figura 8. Distribución de la distribución potencial de las especies de Decapoda mostrando las áreas de idoneidad en América del Sur, *D. pagei* (A), *M. amazonicum* (B), *M. jelskii* (C), *M. rosenbergii* y *P. clarkii* (D, E respectivamente). Modificado de Oliveira *et al.* (2023)

DISCUSIÓN

Las especies que mostraron mayor área de idoneidad fueron *P. clarkii* y *M. rosenbergii*, siendo ~11% y 6%, respectivamente del territorio total de América del Sur potencialmente susceptible a una invasión de estas especies. El potencial de invasión de *M. amazonicum* que, además de tener una alta adecuabilidad, es la más comercializada, hace que esta especie necesite en forma urgente estrategias de manejo (Kutty *et al.*, 2000). El área se superpone con varias cuencas fluviales de la Región Sudeste de Brasil y áreas cercanas al Pantanal de Mato Grosso, que también incluye regiones de Paraguay y Argentina, además de varias áreas de protección ambiental. *Procambarus clarkii*, es considerada una de las especies de crustáceos más invasoras del mundo y ha logrado escapar de todos los sistemas de cultivo en los que se ha cultivado hasta la fecha (Barros *et al.*, 2012). Las áreas de mayor idoneidad para *M. rosenbergii* corresponden a gran parte de la Selva Amazónica y casi toda la cuenca del río Amazonas, que incluye desde la cuenca del río Japurá hasta la cuenca del río Branco y zonas costeras de

Venezuela, debajo de la isla desde Trinidad hasta la desembocadura del río Oiapoque. La contribución de las variables de precipitación a la construcción del modelo fue significativa para todas las especies, ya que se alinea con el ciclo reproductivo y ambientes favorables para desarrollo larvario. La temporada de lluvias, particularmente de noviembre a marzo, está correlacionada con el pico reproductivo para algunas especies como *M. jelskii*. Estudios con *M. amazonicum* y otras especies de *Macrobrachium* refuerzan que esta fluctuación de temperatura puede influir directamente en el número de individuos de la población (Collart y Moreira, 1993).

CONCLUSIONES

Nuestros resultados demostraron que la Región Sudeste de Brasil y el Pantanal son particularmente vulnerable a la invasión de especies de decápodos de agua dulce. Además, nuestro estudio subraya la importancia de la conservación y preservación de los hábitats vulnerables, particularmente aquellos ubicados dentro de Reservas Biológicas y Áreas Protegidas, para prevenir colonización por especies invasoras. Sin embargo, creemos que nuestros hallazgos brindan información para los gestores ambientales a fin de proteger la biodiversidad acuática y terrestre y fundamentar el desarrollo de la conservación y medidas de gestión para mitigar los riesgos de invasión y promover el desarrollo sostenible.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del trabajo de disertación de Maestría de Lucas Rieger de Oliveira y formó y es un parte de la publicación en la revista Diversity 15, 841. <https://doi.org/10.3390/d15070841>.

Invasiones biológicas y sus impactos en la acuicultura

Carlos Belz

Las especies invasoras tienen un gran potencial para causar impactos donde se introducen, ya sea ambiental, social o económico. Varias características como un ciclo de vida corto, alta fecundidad y adaptabilidad ambiental hacen que algunas especies tengan un mayor potencial invasor. Los moluscos son un grupo

animal que presenta varias especies con estas características, lo que los convierte en potencialmente invasivos, con varios ejemplos de introducción y generación de impactos en todo el mundo (Belz, 2006) (IBAMA, 2017). El Grupo eMias (Especialistas en Moluscos Introducidos de América del Sur - <https://emiasgroup.wixsite.com/emias>) publicó un artículo con un inventario de moluscos invasores de América del Sur (Darrigran *et al.*, 2020). En este relevamiento es posible identificar especies de moluscos que fueron introducidas voluntariamente al continente para ser producidas comercialmente, como *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), que terminó volviéndose invasora en Argentina, compitiendo con las especies nativas y provocando impactos ambientales irreversibles.

Hasta los años 90 la preocupación por los impactos generados por especies invasoras era incipiente. Era un tema poco discutido, difundido y no tomado en consideración al momento de introducir una nueva especie para producción. Sólo se tuvieron en cuenta características como un crecimiento rápido, una buena conversión alimenticia y un buen rendimiento de carne, además de cuestiones sanitarias relacionadas con otras producciones animales. Así, muchas especies se introdujeron por todo el mundo y se convirtieron en problemas irresolubles. Hasta el punto de que hoy la introducción de especies invasoras es considerada una de las mayores causas de reducción y extinción de la biodiversidad a nivel global (Tsirintanis *et al.*, 2022).

Afortunadamente, hoy en día el debate sobre las especies invasoras está muy extendido. Este hecho provocó que el sector público y el sector productivo vean con más cautela las introducciones de especies. Un ejemplo es el gobierno brasileño, que está creando un modelo de análisis de riesgo de bioinvasión para respaldar las autorizaciones de importación de especies. Como resultado, el número de introducciones voluntarias disminuyó, pero las introducciones involuntarias tuvieron un gran aumento (Tsirintanis *et al.*, 2022). La globalización y la intensificación del comercio internacional son algunos de los factores que explican este aumento. Uno de los mayores vectores de introducción involuntaria de especies en el planeta hoy en día es el agua de lastre de los barcos, que mueve miles de especies de un lado al otro del globo, provocando en forma inadvertida muchas introducciones (Anil *et al.*, 2002). Otros ejemplos de introducciones involuntarias son la bioincrustación, cuando las especies se

mueven adheridas a otros sustratos naturales o artificiales, y el comercio global, puede introducir animales, plantas o patógenos, junto con otras especies comercializadas voluntariamente.

La acuicultura es una actividad que requiere un medio ambiente sano y equilibrado y los acuicultores se han dado cuenta cada vez más de la importancia de preservar el medio ambiente donde trabajan y se ganan la vida (Boyd *et al.*, 2020). Las especies invasoras provocan un desequilibrio ambiental importante, desplazando especies, interfiriendo profundamente en toda la cadena trófica y provocando una reducción de la biodiversidad, pudiendo incluso extinguir especies cultivadas. Así muchas especies invasoras causan impactos en las actividades acuícolas. Tanto los impactos ambientales como los impactos económicos y sociales (Forneck *et al.*, 2016). Un gran ejemplo de esto es el mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). Esta especie de molusco bivalvo de la familia Mytilidae, vulgarmente conocida como mejillón dorado, fue introducida en Sudamérica a principios de los años 90 a través del agua de lastre procedente de barcos provenientes del sudeste asiático. Desde entonces, la especie se ha dispersado por varias cuencas fluviales de Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil, provocando importantes impactos ambientales y efectos económicos (Darrigran *et al.*, 2003). Cambia la dinámica del fitoplancton, que es su alimento y al mismo tiempo la base de toda la cadena trófica límnic.

Además, se adhiere a cualquier sustrato presente en el agua (otros animales, plantas y cualquier sustrato artificial), incluidos las redes de los tanques para piscicultura, las cuales quedan completamente obstruidas, provocando una reducción de su vida útil, menor circulación del agua dentro de las estructuras, lo que conduce a la reducción del crecimiento de los peces y en muchos casos, incluso a la pérdida definitiva de estructuras (Figura 9). Además, los mejillones dorados también bloquean las tuberías de captación de agua y pueden ser un problema en cultivos en estanques excavados que dependen del suministro de agua (Belz, 2006).



Figura 9. Tanques de red incrustados con mejillones dorados. (Foto: Daercy Rezende Ayroza)

Otra especie de molusco que puede causar problemas a las piscifactorías es el bivalvo *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819). Molusco originario de Brasil, pero trasladadas en otras cuencas fluviales (Carranza *et al.* 2023). En condiciones de piscicultura en estanques, esta especie puede proliferar significativamente (Felipi & Silva-Souza, 2008). Vive enterrada en el sustrato, pero sus larvas pasan un período de su vida como parásitos de las branquias de los peces, lo que en grandes cantidades puede provocar pérdidas económicas al comprometer el crecimiento y la salud de los peces (Figura 10).

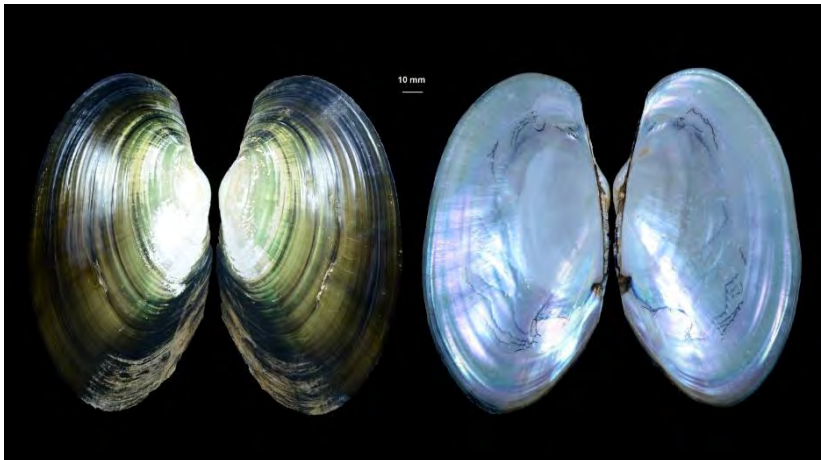


Figura 10 . *Anodontites trapesialis* (Foto: Carlos Belz)

Además de estas especies, otros invasores como el bivalvo *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) y gasterópodos límnicos como *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) y terrestres como *Bulimulus bonariensis* (Rafinesque, 1833) y *Macrochlamys indica* Godwin-Austen, 1883 pueden obstruir las tuberías de captación y distribución de agua, además de alterar las características limnológicas de los cuerpos de agua (Rabelo et al., 2022).

En la acuicultura marina, varias especies de moluscos también han comprometido la actividad, como la ostra invasora *Saccostrea cucullata* (Born, 1778), que se ha ido dispersando a lo largo de la costa brasileña, compitiendo por espacio y alimento con especies nativas (Amaral et al., 2020). Además, varios mitílidos invasores, como *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, se encuentran cada vez más en cultivos tradicionales y están causando preocupación entre los criadores de mariscos en el sur de Brasil, el mayor productor de moluscos del país (Silveira Jr. & Couto, 2023). Otra especie que llegó recientemente a Brasil es el mejillón verde asiático *Perna viridis* (Linnaeus, 1758), que fue registrado por primera vez en 2018 en Río de Janeiro y desde entonces ha aumentado su distribución a lo largo de la costa brasileña (Messano et al., 2019). En Venezuela, esta especie fue responsable de importantes impactos sobre las especies nativas de mitílidos (Prieto et al., 2009), que probablemente también ocurrirán en Brasil. Si bien la especie también tiene potencial de cultivo, el impacto sobre las especies nativas desequilibra el medio ambiente y compromete la acuicultura.

Un problema importante para la acuicultura marina es también la introducción del gasterópodo invasor *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). Este molusco, originario de Asia, es considerado invasor en varios continentes y fue identificado en 2011 en la costa de Rio Grande do Sul, Brasil (Spotorno-Oliveira et al., 2020). Es una especie carnívora, que se alimenta de otros moluscos y encuentra en los entornos de cultivo de moluscos un lugar adecuado para alimentarse y aumentar su población, generando grandes pérdidas.

Este texto se centra en los problemas causados por los moluscos invasores, pero varias otras especies, de otros taxones, también pueden causar problemas importantes, como los peces invasores, varios otros taxones de invertebrados, como así también varias especies vegetales. Por tanto, monitorear, cuantificar y

valorar estos impactos son acciones de suma importancia para incentivar la adopción de medidas preventivas más efectivas.

Un paso importante para prevenir nuevas introducciones es la correcta gestión de las vías y vectores de introducción. Uno de los mayores problemas es el agua de lastre de los barcos, que durante muchos años parecía un problema irresoluble. La OMI (Organización Marítima Internacional) propuso un Convenio sobre Gestión del Agua de Lastre, que para 2021 ya contaba con 86 países como firmantes, el 91,12% de la flota mercante mundial. El Convenio propone que para 2024 todos los buques deben tener un sistema de tratamiento de agua de lastre aprobado (Outinen *et al.*, 2021). Sin embargo, todavía no hay indicios de que se alcance este objetivo.

¿Qué pasa con el sector de la acuicultura? ¿Qué hacer? Para que el sector sufra menos los efectos de las bioinvasiones, debe continuar el proceso de comprender que una especie con buenas características zootécnicas no siempre es la mejor especie para el cultivo. También hay que tener en cuenta las cuestiones ambientales. Es de esperar que el sector acuícola comprenda cada vez más que un medio ambiente sano y preservado es el punto de partida para el éxito de la actividad. Es importante que todos los participantes de la actividad adquieran conocimientos sobre bioinvasiones, y es de suma importancia que el tema sea abordado en cursos de capacitación en el área de acuicultura. También es importante que el sector participe en investigaciones para valorar las especies nativas, además de contribuir con acciones de control y monitoreo de especies no-nativas e invasoras.

El rol de la educación y su incidencia en la prevención de la introducción de especies no nativas y las invasiones biológicas

Alfredo Vilches

Las especies exóticas o no nativas son aquellas que se encuentran fuera de su área de distribución natural. Algunas de estas especies pueden convertirse en invasoras representando una amenaza significativa para la conservación de la biodiversidad y, además, tienen un impacto negativo en las especies nativas, así como en los servicios ecosistémicos (Fasola y Roesler, 2016; Torres y González-Pisani, 2016); también afectan aspectos económicos y sociales (InBiAr, 2020).

Estudios recientes indican que las especies exóticas invasoras (EEI) se encuentran entre las cinco causas principales del cambio global durante los últimos 50 años (IPBES, 2023).

Para abordar este problema, la educación acerca de las especies exóticas es esencial para el manejo y control de las invasiones biológicas, y se considera un componente fundamental de los saberes que debe poseer un ciudadano científicamente alfabetizado (Campos *et al.*, 2023).

Diversas organizaciones y acuerdos internacionales, como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y el Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP), destacan la importancia de la educación ambiental como un instrumento esencial en la lucha contra las especies exóticas invasoras (EEI) (Capdevila Argüelles *et al.*, 2006; Vilches *et al.*, 2010). Estas instituciones reconocen que la educación es fundamental para informar a los estudiantes sobre las causas, problemas y posibles soluciones para mitigar los riesgos asociados con las invasiones biológicas. En el artículo 13 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992), se insta a las partes contratantes a implementar acciones de educación y sensibilización pública.

Para hacer frente a la problemática de las especies exóticas invasoras, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) de la Nación Argentina, a partir del año 2016 ha puesto en marcha el proyecto denominado Fortalecimiento de la gobernanza para la protección de la biodiversidad, mediante la formulación e implementación de la Estrategia Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras (ENEEI). Este proyecto cuenta con la Estrategia de Comunicación y Concientización Pública como pilar fundamental para avanzar en el manejo de las invasiones biológicas (IB), para contribuir a una mejor protección de la biodiversidad ante la amenaza de estas especies (ECCP, 2017).

En el documento de la ECCP (2017) se señala que la educación tiene un rol fundamental en la transformación a largo plazo de las percepciones y en la promoción de la conciencia sobre las Especies Exóticas Invasoras (EEI) y sus impactos. Es una estrategia clave para lograr un cambio en la percepción social respecto a este problema. Además, se enfatiza sobre la importancia de fomentar

el desarrollo de capacidades a través de la educación tanto formal como informal, ya que esto contribuye a asegurar que el conocimiento sobre las EEI perdure a lo largo de las generaciones, permitiendo que comprendan, valoren y actúen adecuadamente frente a este desafío.

Ante este escenario, los temas relacionados con la biodiversidad y su problemática se presentan como áreas de estudio con un gran potencial educativo, adecuados para ser tratados en el ámbito de la educación formal. Esto permite que los estudiantes puedan examinar su importancia, así como las causas e impactos del deterioro de la biodiversidad debido a la influencia de las actividades humanas.

Este trabajo constituye una revisión de diversos estudios realizados en Argentina acerca de especies exóticas e invasiones biológicas en el ámbito educativo.

Los diseños curriculares

El conocimiento y el reconocimiento de las especies nativas y las EEI y sus amenazas potenciales deben incluirse en currículos educativos formales y no formales utilizando herramientas novedosas y amigables para captar también la atención de las nuevas generaciones. (Sosa *et al.*, 2021).

En los diseños curriculares de la provincia de Buenos Aires (Argentina) que rigen la educación secundaria no se explicita puntualmente a la introducción de especies exóticas y las invasiones biológicas como tema específico en el área de ciencias naturales. Sin embargo, los contenidos relacionados con la dinámica ecosistémica, las relaciones tróficas y la conservación de la biodiversidad que se enseñan en la Educación Secundaria Básica (ESB) y la Educación Secundaria Superior (ESS) ofrecen la oportunidad de explorar el tema de las invasiones biológicas y las especies exóticas (Vilches, 2022).

Conocimiento de los estudiantes sobre especies exóticas e invasiones biológicas

Las invasiones biológicas son comúnmente reconocidas como una importante amenaza para la biodiversidad, un impulsor del cambio global y un problema socio-económico. A pesar de esto, los futuros profesores en Argentina no las

consideran una de las causas principales de la pérdida de biodiversidad (Bermúdez y Lindemann-Matthies, 2020; Sosa *et al.*, 2021; Vilches *et al.*, 2015).

Algunos autores señalan que los estudiantes argentinos conocen más a las especies exóticas que a las nativas y, además están familiarizados con las mascotas, las plantas ornamentales y los mamíferos carismáticos (Campos *et al.*, 2013); también consideran a los animales domésticos como especies nativas (Vilches *et al.*, 2018).

En un estudio realizado con estudiantes del profesorado en Biología de Argentina (Vilches *et al.*, 2014) se indaga sobre el concepto de especie exótica, ante lo cual, la mayoría de los alumnos responden de manera correcta con expresiones tales como: "Especie introducida en un ambiente al cual no pertenece y proviene de otro lugar"; "Especie introducida en un ambiente que no es el que habita originalmente"; "Especie que se introduce a una región que no pertenece a su área de distribución original". Otras respuestas evidencian confusiones tales como asignar al concepto de especie exótica el de endémica ("Es propia y única de un lugar"); también se observan respuestas que indican que una especie exótica es una especie rara o no hallada frecuentemente o poco abundante. En otros casos, se asocian las especies exóticas a organismos provenientes del exterior del país (por fuera de los límites políticos). Si bien la mayoría de los estudiantes definió especie exótica correctamente, parte de la muestra evidencia dificultades para conceptualizar (Vilches *et al.*, 2014).

Ante la consulta sobre qué es una invasión biológica, los resultados indican que la mayoría de los encuestados realizan una simplificación del concepto y lo definen como la introducción de una especie exótica. De este modo, los estudiantes consideran que con la simple introducción de una especie ocurrirá inequívocamente una invasión biológica, situación que no se da de manera habitual, pues existe una baja probabilidad de que una especie introducida provoque una invasión. Las invasiones biológicas son el resultado final de un proceso, de una secuencia de pasos o etapas que se deben cumplir (Darrigran *et al.*, 2012). En este sentido, Darrigran y Damborenea (2006) señalan una tendencia en la que aproximadamente el 10 % de las especies introducidas pueden establecerse en el ecosistema invadido.

Al indagar sobre los impactos que pueden ocasionar las invasiones biológicas se observa que la mayoría de las respuestas vinculan a las bioinvasiones con algún tipo de consecuencia ecológica, algunas de ellas son: "Competencia de los organismos introducidos con los nativos", "Las consecuencias que pueden traer es la hibridación de especies generando especies nuevas", "[...] eliminación de una especie, ya sea por competencia por el alimento, el territorio etc.", "[...] alteran la dinámica y composición de un ecosistema", "[...] alterar la cadena trófica". Los impactos socioeconómicos y sanitarios fueron escasamente mencionados por los estudiantes.

En lo que respecta a la gestión sobre las EEI, la mayoría de los estudiantes coinciden en que la responsabilidad principal en la prevención recae en el Estado, tal como se recomienda en el artículo 8 h del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB, 1992). Sin embargo, dado que los problemas ambientales son complejos y no tienen soluciones únicas, abordar estas problemáticas requiere también contar con el conocimiento científico y técnico necesario para prevenir tanto la llegada como el establecimiento de especies invasoras (Vilches *et al.*, 2010). Esto implica no solo evitar la bioinvasión, sino también concientizar a la sociedad sobre este problema (Darrigran *et al.*, 2012). Un aspecto que no fue resaltado por los estudiantes está vinculado con la importancia de educar a las personas como medio para generar conciencia, tanto para evitar la introducción intencional de especies exóticas y su adquisición como mascotas, como para que los ciudadanos exijan a los funcionarios un manejo adecuado de esta problemática ambiental.

Los libros de textos escolares y el tratamiento de las invasiones biológicas

En este apartado se analiza el modo en que los libros de texto de Ciencias Naturales y Biología utilizados en la Educación Secundaria Básica (ESB) y la Educación Secundaria Superior (ESS) de la provincia de Buenos Aires (Argentina) abordan y describen el tema de las invasiones biológicas y las especies exóticas. Los libros de texto actúan como mediadores del conocimiento científico para los estudiantes, desempeñando un papel crucial en su formación intelectual. Por lo tanto, es de suma importancia que la calidad de los contenidos desarrollados se mantenga, ya que esto impacta significativamente en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, guiando y orientando muchas de sus actividades.

En lo que respecta a las definiciones de especies nativas, exóticas e invasiones biológicas que se encuentran en los libros de texto (LT), se observa que, en general no proporcionan definiciones claras sobre especies nativas, y menos de la mitad de los LT de ambos niveles incluyen definiciones sobre especies exóticas e invasiones biológicas. En relación con las definiciones de especies exóticas, algunas muestran una simplificación del concepto al referirse simplemente a especies que se encuentran fuera de su área natural de distribución, mientras que otras lo utilizan como sinónimo de foráneo o especie invasora. Estos resultados concuerdan con investigaciones en las que se les pedía a los estudiantes de Porto Alegre (Brasil) que definan especie exótica y nativa (De Souza Proença *et al.*, 2017).

Respecto a las definiciones de invasiones biológicas, algunas también simplifican el proceso al asociarlo únicamente con animales, mientras que otras hacen referencia a diferentes aspectos del proceso de invasión o al impacto ambiental provocado por el crecimiento poblacional de una especie exótica.

Estas características que se observan en los LT escolares también son halladas en los artículos científicos sobre biología de las invasiones; de este modo, Pereyra (2016) señala que no es común que haya una definición de especie invasora, y cuando está presente, en general no es posible inferir el criterio que se utilizó para etiquetar una especie como invasora. En este sentido, sería apropiado que los LT incorporen definiciones más claras que indiquen el criterio en el cual se basan. La inclusión de definiciones en los textos es necesaria para evitar interpretaciones erróneas que podrían obstaculizar el aprendizaje. Por lo tanto, definiciones estandarizadas y claramente enunciadas contribuirían a una comprensión más eficaz de este tema. La falta de definiciones en los textos podría ser una barrera para la comprensión o contribuir a la formación de ideas incorrectas, lo que podría dificultar el aprendizaje sobre este tema.

En relación con la terminología utilizada por los textos para describir las especies exóticas e invasiones biológicas, se observa una variedad de términos que se emplean como sinónimos para referirse a estos conceptos, tanto en literatura científica (Lockwood *et al.* 2007), como en los libros de textos. Esto genera dificultades para alcanzar una conceptualización precisa que se ajuste al conocimiento científico de referencia. Por lo tanto, sería recomendable que las

editoriales responsables de la producción de textos escolares establezcan criterios uniformes en cuanto al uso de la terminología, especialmente al tratar el tema de las invasiones biológicas.

Según lo expuesto y en concordancia con Campos *et al.* (2023), el uso de una gran variedad de términos puede dificultar la adquisición de una conceptualización precisa que se alinee con el conocimiento científico establecido. Además, muchos de estos términos pueden no denotar lo mismo, lo que puede resultar en concepciones intuitivas sobre lo que constituye una especie exótica, invasora, autóctona, entre otros. Comunicar sobre las especies exóticas y las invasiones biológicas a un público no especializado puede presentar un desafío considerable. La falta de comprensión de los conceptos clave relacionados con la biología de las invasiones, junto con la presencia de múltiples y ambiguas definiciones de términos como "nativo", "exótico" y "especies invasoras", puede generar confusión entre personas no familiarizadas con el tema (Verbrugge *et al.*, 2021). De acuerdo con lo hallado en los libros de texto y en los debates actuales sobre la multiplicidad de términos utilizados para referirse a las especies exóticas, sería aconsejable que los manuales o libros de texto escolares incluyan definiciones claras de los términos que se utilizan en sus páginas.

En cuanto al impacto generado por las especies exóticas invasoras, se observa que los libros de texto de ambos niveles educativos prestan mayor atención al impacto ecológico, mientras que las referencias al efecto económico y sanitario son escasas. Dentro del impacto ecológico, se destaca principalmente la competencia, desplazamiento y extinción de las especies nativas como la subcategoría más relevante, lo que sugiere que son las especies las más afectadas por las invasiones. Este enfoque refleja la tendencia a considerar al componente específico de la biodiversidad y a poner en primer plano a las especies como el centro de la pérdida de biodiversidad. Aunque las invasiones biológicas tienen efectos en los ecosistemas naturales, también es importante destacar el efecto económico y sanitario asociado, lo que resalta la falta de reconocimiento por parte de las editoriales respecto a los diversos impactos que pueden tener estas invasiones.

En lo que respecta a los ejemplos relacionados con las especies exóticas e invasiones biológicas la mayoría de los libros de texto incorporan ejemplos al

abordar esta temática, siendo los mamíferos el grupo que recibe mayor atención, seguido por las plantas. Por su parte, los organismos invertebrados presentaron baja representación en los libros de texto. Al respecto, es importante destacar que este grupo constituye uno de los principales invasores a nivel mundial debido a diversas razones, como su consumo como alimento por humanos u otros animales, su uso como mascotas y en el control biológico, o su transporte accidental. En Argentina, se han registrado aproximadamente 730 especies invasoras, de las cuales el 21 % son invertebrados, siendo los artrópodos los más comunes (Vilches, 2022). Los ejemplos de organismos invertebrados fueron escasos en los libros de texto, a pesar de que constituyen uno de los principales grupos de invasores a nivel mundial. En este sentido, en Argentina se han registrado 730 especies invasoras, de las cuales el 21% son invertebrados, siendo los artrópodos los más abundantes (InBiAr, 2020).

CONCLUSIONES

La problemática relacionada con las invasiones biológicas se enmarca en las cuestiones socio científicas, dado que involucran problemas complejos que requieren tanto conocimientos científicos como consideraciones sociales. Es fundamental abordar estos temas con los estudiantes, ya que son problemas actuales y reales que pueden despertar un gran interés y proporcionar herramientas para fomentar la argumentación, la adopción de posturas, la participación y el diálogo entre diferentes saberes. Por ello sería deseable la implementación de estrategias de capacitación docente que les permitan actuar como mediadores competentes en la construcción del conocimiento escolar, integrando la vigilancia epistemológica en sus competencias y saberes profesionales.

Es esencial que los estudiantes se familiaricen, reconozcan y valoren de manera positiva a las especies nativas de su entorno, y en este sentido, la escuela tiene un papel fundamental. Por lo tanto, es necesario que los docentes diseñen y apliquen unidades didácticas que utilicen ejemplos concretos de especies nativas, contextualizadas en el entorno local de los estudiantes.

CONSIDERACIONES FINALES

Las bioinvasiones lejos de ser solo un hecho eventual, aislado (o lo que podemos comparar con “una foto” que atrapa un momento), es un proceso dinámico (“una película”), en la que básicamente se debe considerar para su tratamiento dos elementos (“actores”), especies y ambiente, relacionados estos (“director de la película”) por la forma en que llegan al nuevo ecosistema, es decir, el vector (Figura 11).



Figura 11. En esta figura, se observan los elementos fundamentales para que pueda realizarse una bioinvasión. La capacidad de la especie en adaptarse al nuevo ambiente, el estado del nuevo ambiente para mantener a la especie no-nativa; y ambos elementos relacionados por un vector (las formas o los materiales con los que estas especies no-nativas son transportadas).

Sobre la base de los distintos conocimientos expuestos en este capítulo, la biodiversidad debe encararse considerando su condición multidimensional y, se comprueba una vez más que, al considerar una estrategia de conservación para actuar sobre uno de los causantes más significativos de pérdida de la biodiversidad, como son las invasiones biológicas, en la actualidad solo se cumplen dos de los tres componentes necesarios para que la conservación sea sostenida en el tiempo (Figura 12). En Argentina y varios países de América del Sur, existen grupos de investigación que cubren en forma positiva con el componente “generación de conocimiento”, también existen instituciones que desarrollan correctamente el componente “manejo”. Por último, el tercer componente, “política socio-ambiental”, debe presentar capacidad (de conocimiento, operativa y de decisión), y ser estable a través del tiempo y de los gobiernos.

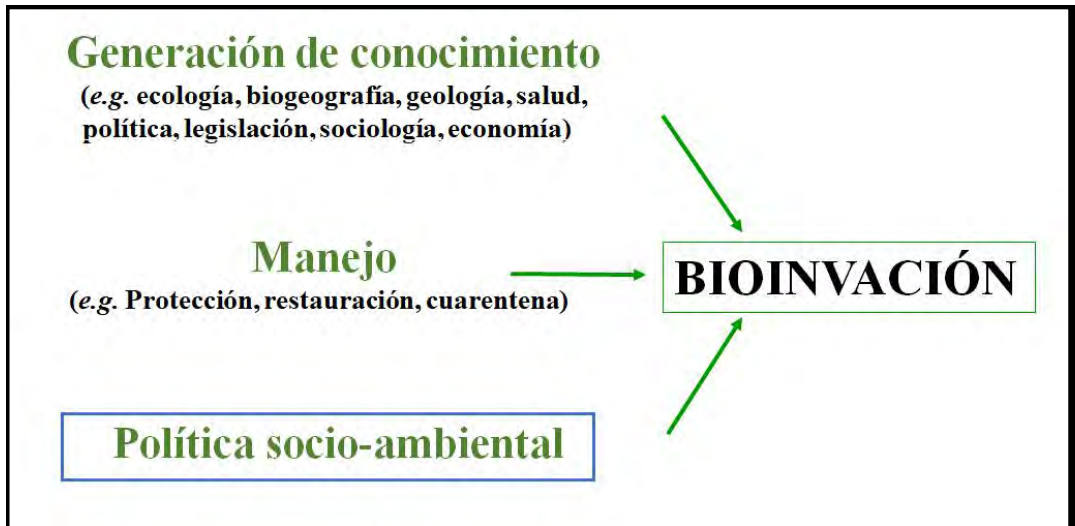


Figura 12. Estrategia de gestión sobre el problema ambiental de las bioinvasiones (modificado de Cowie, 2004).

Frecuentemente, el funcionario o responsable de turno encargado de este último componente (recuadro en la Figura 12), desconoce el tema ambiental en general y el de las bioinvasiones en particular, lo que se evidencia por el desinterés en mantener y fortalecer los dos componentes anteriores, transformándolos en improductivos o desaparecen. Si bien estos tres componentes hacen un todo en

la actividad de la prevención/control de las bioinvasiones y, por lo tanto, en el cuidado de la biodiversidad, hay uno de esos componentes que no se ha logrado apuntalar y mantener, es decir, una política ambiental continua, persistente a lo largo del tiempo, con la finalidad de no solo mantener a los otros dos componentes, sino optimizarlos.

Lo planteado en el párrafo anterior, se lograría a medio y largo plazo, a través de la educación y el rol que cumplen los docentes, el grado de formación que ellos tengan y el impacto que logren en sus estudiantes. De esta forma se estará concienciado a la sociedad de exigir a sus funcionarios de turno, que cumplan en desarrollar una política socio-ambiental sostenida en el tiempo. Asimismo, las entidades nacionales e internacionales deben involucrarse y fomentar la realización de ese desafío docente. Cuando esto suceda, será un indicador de que el desafío docente que se menciona en este artículo, ya se desarrolla en forma aislada y que la formación docente está encaminada y en vías de estar capacitada para cumplir con lo planteado en este artículo.

AGRADECIMIENTO

A los organizadores del XII FIRMA 2023 online, por convocarnos y en especial a César Lodeiros, por la ayuda brindada para la realización de la Sesión 4 "Bioinvasores: Efectos e impactos en América del Sur". El presente artículo pudo realizarse por la financiación parcial de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil mediante la beca de Maestría de Lucas Rieger de Oliveira; y con el financiamiento parcial del PICT-2019-01417; UNLP 11/H949; PIP 1966 (GD y AV).

REFERENCIAS

Amaral, V. S.; Simone, L. R. L.; de Souza Tâmega, F. T.; Barbieri, E.; Calazans, S. H.; Coutinho, R. & Spotorno-Oliveira, P. (2020). New records of the non-indigenous oyster *Saccostrea cucullata* (Bivalvia: Ostreidae) from the southeast and south Brazilian coast. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100924.

- Anil, A. C.; Venkat, K.; Sawant, S. S.; Dileepkumar, M.; Dhargalkar, V. K.; Ramaiah, N. & Ansari, Z. A. (2002). Marine bioinvasion: Concern for ecology and shipping. *Current Science*, 83(3), 214-218.
- Barros-Alves S. D., Almeida A.C., Fransozo V., Alves D.F., Silva J.C. & Cobo V.J. (2012). Population biology of shrimp *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1778) (Decapoda, Palaemonoidea) at the Grande River the northwest of the state of Minas Gerais, Brazil. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 24: 266-275.
- Bastida R (1971). Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales. Hidrobiología*. 3:203–285.
- Bellard C., Thuiller W., Leroy B., Genovesi P., Bakkenes M. & Courchamp F. (2013). Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, 19, 3740–3748.
- Belz, C. E. (2006). Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Curitiba, PR. 102pp.
- Bermudez, G. M., & Lindemann-Matthies, P. (2020). "What matters is species richness" high school students' understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50(6), 2159-2187.
- Böhm, M., N.I. Dewhurst-Richman, M. Seddon, S.E.H. Ledger, C. Albrecht, D. Allen, A.E. Bogan, J. Cordeiro, K.S. Cummings, A. Cuttelod, G. DARRIGRAN, W.I Darwall, Z. Fehér, C. Gibson, D.L. Graf, F. Köhler, M.I Lopes-Lima, G. Pastorino, K.E. Perez, K. Smith, D. van Damme, M. V. Vinarski, T. von Proschwitz, T. von Rintelen, D.C. Aldridge, N.A. Aravind, P.B. Budha, C. Clavijo, D. Van Tu, O. Gargominy, M. Ghamizi, M. Haase, C. Hilton-Taylor, P.D. Johnson, Ü. Kebapçı, J. Lajtner, C.N. Lange, D.A.W. Lepitzki, A. Martínez-Ortí, E.A. Moorkens, E. Neubert, C.M. Pollock, V. Prié, C. Radea, R. Ramirez, M.A. Ramos, S. Santos, R. Slapnik, M.O. Son, A-S. Stensgaard & B. Collen (2021). The conservation status of the world's freshwater molluscs. *Hydrobiologia*. 848, 3231–3254

- Bortolus, A. & Schwindt E. (2022). Biological invasions and human dimensions: We still need to work hard on our social perspectives. *Ecología Austral*, 32:767-783. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.1.1890>
- Boyd, C. E.; D'Abramo, L. R.; Glencross, B. D.; Huyben, D. C.; Juarez, L. M.; Lockwood, G. S.; McNevin, A. A.; Tacon, A. G. J.; Teletchea, F.; Tomasso Jr., J.R.; Tucker, C. S. & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51 (3), 578-633.
- IBAMA. (2017). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –Diagnóstico sobre a invasão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasil.
- Campos, C. M., Nates, J. & Lindemann-Matthies, P. (2013). Percepción y conocimiento de la biodiversidad por estudiantes urbanos y rurales de las tierras áridas del centro-oeste de Argentina. *Ecología Austral* 23(3), 174-183
- Campos, C. M., Bermúdez, G. M., Díaz, G. B. & Vilches, A. M. (2023). Knowledge about exotic species in the formal educational sphere in Argentina. En: A. E. J. Valenzuela, C. B. Anderson, R. A. Ojeda y S. A. Ballari (Eds.). *Invasive Exotic Mammals in Argentina*. SAREM series A: Mammalogical Research.
- Capdevila Argüelles, L., Iglesias García, A. Orueta, J. & Zilleti, B. (2006). *Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. Disponible en: http://www.mma.es/secciones/el_ministerio/organismos/oapn/pdf/edit_libro_04_00.pdf
- Capinha C., Leung B. & Anastácio P. (2011). Predicting worldwide invasiveness for four major problematic decapods: An evaluation of using different calibration sets. *Ecography*, 34: 448-459.
- Carlton, J. T. & J. B. Geller. 1993. Ecological roulette: The global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261: 78-82

- Carranza, A., I. Agudo-Padrón, G.A. Collado, C. Damborenea, A. Fabres, D.E. Gutiérrez Gregoric, C. Lodeiros, S. Ludwig, G. Pastorino, P. Penchaszadeh, R.B. Salvador, P. Spotorno, S. Thiengo, T. Vidigal & G. Darrigran (2023) Socio-Ecological Impacts of Non-Native and Transplanted Aquatic Molluscs Species in South America. What do We Really Know? *Hydrobiología*, 850:1001–1020 <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05164-z>
- Castro, J., Valbuena, E., Escobar, G., Roa, R. & López, L. (2021). Multidimensionalidad de la biodiversidad. Aportes a la formación inicial de profesores de biología en Colombia. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (50), 131–148. <https://doi.org/10.17227/ted.num50-11978>
- CDB. (1992). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Pp32. Disponible en: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Coetzee B.W.T., Robertson M.P., Erasmus B.F.N., van Rensburg B.J. & Thuiller W. (2009). Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. *Global Change Biology*, 18: 701-710.
- Collart O.O. & Moreira L.C. (1993). Potencial pesqueiro de *Macrobrachium amazonicum* na Amazônia Central (Ilha do Careiro): Variação da abundância e do comprimento. *Amazoniana*, 12: 399-413.
- Cowie, R. H. (2004). Disappearing snails and alien invasions: the biodiversity/conservation interface in the pacific. *Journal of Conchology*. Especial Publication 3: 23-37.
- Darrigran, G., Damborenea, M. C., Penchaszadeh, P., & Taraborelli, A. C. (2003). Adjustment of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) after ten years of invasion in the Americas. *Journal of Shellfish Research*, 22 (1), 141-146.
- Darrigran, G. y Damborenea, M. C. (2006). Bio-Invasiones. En: Darrigran, G. & Damborenea, M. C. (Eds.). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. EDULP, La Plata. Argentina. 220 pp.

Darrigran, G.; Archubi, F. & Mansur, M. (2012). Manejo Integrado de Especies Invasoras. En: M. Mansur; C. Pinheiro dos Santos; D. Pereira; I.C. Padula Paz; M. L. Leite Zurita; M. T. Raya Rodriguez; M. Vilar Nehrke y P. E. Aydos Bergonci (org.). Moluscos Límnicos Invasores no Brasil. Biología, prevenção, controle (pp. 383-388). Porto Alegre: Redes Editora

Darrigran G, Agudo-Padrón I, Baez P, Belz C, Cardoso F, Car-ranza A, Collado G, Correoso M, Cuezco MG, Fabres A, Gutiérrez Gregoric DE, Letelier S, Ludwig S, MansurMC, Pastorino G, Penchaszadeh P, Peralta C, RebolledoA, Rumi A, Santos S, Thiengo S, Vidigal T & Damborenea C (2020) Non-native mollusks throughout SouthAmerica: emergent patterns in an understudied conti-nent. Biol Invasions 22:853–871. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02178-4> .

Darrigran, G., I. Agudo-Padrón, P. Baez, C. Belz, F. Cardoso, G.A. Collado, M. Correoso, M. G. Cuezco, C. Damborenea, A. A. Fabres, M. A. Fernandez, S. R Gomes, D. E. Gutiérrez Gregoric, S. Letelier, C. Lodeiros, S. Ludwig, M. C. Mansur, S. Narciso, G. Pastorino, P. E. Penchaszadeh, A. C. Peralta, A. Rebolledo, A. Rumi, R. B. Salvador, S. Santos, P. Spotorno, S. Carvalho Thiengo, T. Vidigal & A. Carranza (2022-online) Species movements within biogeographic regions: Exploring the distribution of transplanted mollusc species in South America. Biological Invasions- BINV-D-21-00428R4 DOI: 10.1007/s10530-022-02942-z

Darrigran, G.; O. Lasso-Alcalá; C. Villaseñor-Parada; S. Falco; T. Maiztegui & C. Damborenea (2023). Especies acuáticas invasoras. Foro Iberoam. Rec. Mar. Acui. 11: 23-41. En: Baltazar-Guerrero P. M., González-Henríquez N., Rey-Méndez M., Alió Mingo J.J., Zapata-Vivenes E., De Donato M., Lodeiros C. 2023. XI Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, 2022. Ediciones AFRIMAR-AFIRMA, Las Palmas de Gran Canaria, España, 821pp.

de Lucía M; Darrigran G. & Gutierrez Gregoric D (2023) The most problematic freshwater invasive species in South America, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), and its status after 30 years of invasion Aquatic Sciences (2023) 85:5 <https://doi.org/10.1007/s00027-022-00907-x>.

De Souza Proença, M., Dal-Farra, R. & Oslaj, E. (2017). Espécies Nativas e Exóticas

no Ensino de Ciências: uma Avaliação do Conhecimento dos Estudantes do Ensino Fundamental. *Contexto & Educação*, 32, (103): 213-247.

ECCP, (2017). Estrategia de Comunicación y Concientización Pública. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/biodiversidad/exoticas-invasoras>

Elías R, Jaubet ML, Llanos EN, Sánchez MA, Rivero MS, Garaffo GV & Sandrini-Neto L (2015). Effect of the invader *Boccardia proboscidea* (Polychaete: Spionidae) on the richness, diversity, and structure of the SW Atlantic epilithic intertidal community. *Marine Pollution Bulletin*. 91:530–536.

Elton, E., Gruber, M.J. & Green, C. (2007) The impact of mutual fund family membership on investor risk. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 42(2), 257-278.

FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Fasola, L. & Roesler, I. (2016). Invasive predator control program in Austral Patagonia for endangered bird conservation. *European Journal of Wildlife Research*, 62:601–608

Felipi, P. G. & Silva-Souza, Â. T. (2008). *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819): um bivalve parasito de peixes de água doce. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(4), 895-904.

Forneck, S. C.; Dutra, F. M.; Zacarkim, C. E. & Cunico, A. M. (2016). Invasion risks by non-native freshwater fishes due to aquaculture activity in a Neotropical stream. *Hydrobiologia*, 773, 193-205.

GBIF (2022) Global Biodiversity Information Facility datasets. Department of Resources & Development. <https://www.gbif.org>

Global Biodiversity Information Facility (GBIF. Org). (2022). GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.6jswar>

Gutierrez JL & Jones CG (2006). Physical Ecosystem Engineers as Agents of Biogeochemical Heterogeneity. *BioScience* 56 No. 3: 227 – 236.

Hijmans, R.J. (2022). Raster: Geographic Data Analysis and Modeling; R package version 3.5-15. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

Holt TJ, Rees EI, Hawkins SJ & Seed R (1998). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science (UK Marine SACs Project). 9:1-170.

InBiAr (2020). Base de datos sobre Invasiones Biológicas en Argentina. <http://www.inbiar.uns.edu.ar/>

IPBES (2023). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., Sankaran, K. V., McGeoch, M. A., Meyerson, L. A., Nuñez, M. A., Ordonez, A., Rahlao, S. J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A. W., and Vandvik, V. (eds.).

IPBES (2023): Resumen para responsables de políticas de la evaluación temática de especies exóticas invasoras y su control de la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas. Helen E. Roy, Aníbal Pauchard, Peter Stoett, Tanara Renard Truong, Sven Bacher, Bella S. Galil, Philip E. Hulme, Tohru Ikeda, Sankaran Kavileveetil, Melodie A. McGeoch, Laura A. Meyerson, Martin A. Nuñez, Alejandro Ordonez, Sebataolo J. Rahlao, Evangelina Schwindt, Hanno Seebens Andy W. Sheppard, Vigdis Vandvik. ADVANCED UNEDITED VERSION - 4 September 2023

Jaubet ML (2013). *Boccardia proboscidea*, un poliqueto invasor en el Atlántico Sudoccidental y su efecto sobre la comunidad bentónica intermareal. PhD Thesis, National University of Mar del Plata, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, 207 pp

- Jaubet ML, Sanchez MA, Rivero MS, Garaffo GV, Vallarino EA & Elías R (2011). Intertidal biogenic reefs built by the polychaete *Boccardia proboscidea* in sewage-impacted areas of Argentina, SW Atlantic. *Marine Ecology: an evolutionary perspective*. 32:188-197.
- Jaubet ML, Garaffo GV, Vallarino EA & Elías R (2015). Invasive polychaete *Boccardia proboscidea* Hartman, 1940 (Polychaeta: Spionidae) in sewage-impacted areas of the SW Atlantic coasts: morphological and reproductive patterns. *Marine Ecology*. 36: 611–622, <https://doi.org/10.1111/maec.12170>
- Jaubet ML, Saracho Bottero MA, Hines E, Elías R & Garaffo GV (2018). *Boccardia proboscidea* (Polychaete: Spionidae) from SW Atlantic: How Far Has the Invasion Spread?. *Aquatic Invasions*. 13(3):351–363. <https://doi.org/10.3391/ai.2018.13.3.04>
- Jaubet ML, Garaffo GV, Cuello GV, Hines E, Elías R & Llanos EN (2024). Submarine outfall and new sewage treatment plant modulate the response of intertidal benthic communities in a SW Atlantic area. *Marine Pollution Bulletin*. 199:115946. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115946>
- Kutty M.N., Herman F. & Le Menn H. (2000). Culture of other prawn species. In: New M.B., Valenti, W.C. (Eds.). *Freshwater Prawn Culture: The Farming of Macrobrachium rosenbergii*; Blackwell Science: Oxford, UK. pp. 393-410.
- Llanos EN, Jaubet ML & Elías R (2019). The intertidal benthic community of SW Atlantic as an environmental indicator of 50 years of human mediated changes. *Marine Biology Research*. <https://doi.org/10.1080/17451000.2019.1674875>
- Llanos EN, Saracho Bottero MA, Jaubet ML, Garaffo GV, Hines E, Cuello GV & Elías R (2021). The boom-bust dynamic of the invader *Boccardia proboscidea* mediated by sewage discharge: The response of the intertidal epilithic community in the Southwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*. 164:112045. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112045>
- Lockwood, J. L., M. Hoopes & M. P. Marchetti. (2007). *Invasion ecology*. Singapore: Blackwell Publishing. 304 pp.

- López-Gappa JJ, Tablado A. & Magaldi NH (1990). Influence of sewage pollution on a rock intertidal community dominated by the mytilid *Brachidontes rodriguezii*. *Marine Ecology Progress Series*. 63:163-175.
- López Gappa JJ, Tablado A & Magaldi NH (1993). Seasonal changes in an intertidal community affected by sewage pollution. *Environmental Pollution*. 82:157-165.
- Loureiro T.G., Bueno S.L.S., Anastácio P.M., Almerão M.P., Souty-Grosset C. & Araujo P.B. (2015) Distribution, introduction pathway, and invasion risk analysis of the North American crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) in Southeast Brazil. *Journal Of the Crustacean Biology*, 35: 88-96.
- Mantovano T., Bailly D., Ferreira J.H.D., Conceição E.O.d., Casemiro F.A.S., de Campos R., Mormul R.P., Rangel T.F. & Lansac-Tôha F.A. (2021). A global analysis of the susceptibility of river basins to invasion of a freshwater zooplankton (*Daphnia lumholzi*). *Freshwater Biology*, 66: 683-698.
- Matschke, V.M. (2020) Análisis de situación de las acciones de manejo ambiental frente a bioinvasiones acuáticas: el caso del mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en el Río de la Plata, Argentina. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Quilmes, Secretaría de Posgrado, Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto, junio de 2020, pp. 160, <http://ridaa.unq.edu.ar>,
- Messano, L. V. R.; Gonçalves, J. E. A.; Messano, H. F.; Campos, S. H. C. & Coutinho, R. (2019). First report of the Asian green mussel *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) in Rio de Janeiro, Brazil: a new record for the southern Atlantic Ocean. *BioInvasions Records*, 8(3), 653-660.
- Miyahira, I.C.; C. Clavijo; C.T. Calli; M.G. Cuezco; G. Darrigran; S.R. Gomes; C.A. Lasso; M. C. D. Mansur; M.S. Pena; R. Ramírez; R. C.L. dos Santos; S.B. dos Santos; F. Scarabino; S.H. Torres; R.E. Vogler & R.H. Cowie. (2022). The conservation of non marine molluscs in South America: where we are and how to move forward. *Biodiversity and Conservation*, 31:2543–2574 <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02446-1>

- Morton, B. (1996). The aquatic nuisance species problem: A global perspective and review. In: F. D'Itri, ed., *Zebra Mussels and other Aquatic Species*, Ann Arbor Press, Ann Arbor, Michigan. Pp. 1-54.
- Naimi B., Hamm N.A., Groen T.A., Skidmore A.K. & Toxopeus A.G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*, 37: 191-203.
- Oliveira L.R., Brito G., Gama M., Ovando X.M.C., Anastácio P. & Cardoso S.J. (2023). Non-Native Decapods in South America: Risk Assessment and Potential Impacts. *Diversity*, 15: 841. <https://doi.org/10.3390/d15070841>.
- Olivier SR, Bastida R & Torti MR (1968). Las comunidades bentónicas de los alrededores de Mar del Plata. *Actas del IV congreso latinoamericano de zoología*, (Caracas, Venezuela): 559-594.
- Outinen, O.; Bailey, S. A.; Broeg, K.; Chasse, J.; Clarke, S.; Daigle, R. M.; Gollasch, S.; Kakkonen, J. E.; Lehtiniemi, M.; Normant-Saremba, M.; Ogilvie, D. & Viard, F. (2021). Exceptions and exemptions under the ballast water management convention—Sustainable alternatives for ballast water management? *Journal of Environmental Management*, 293, 112823.
- Pereyra, P. J. (2016). Revisiting the use of the invasive species concept: an empirical approach. *Austral ecology*, 41(5), 519-528.
- Peterson A.T. & Soberón, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the concepts right. *Nature Conservation*, 10: 102-107.
- Prieto, A. S.; Arrieche, D. & García, Y. (2009). Population dynamics aspects of *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) in the Morro de Guarapo, Araya Peninsula, Venezuela. *Interciencia*, 34(3), 202-208.
- R Core Team. R (2020). A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, Available online: <https://www.R-project.org/>.

- Rabelo, M. M.; Dimase, M. & Paula-Moraes, S. V. (2022). Ecology and management of the invasive land snail *Bulimulus bonariensis* (Rafinesque, 1833) (Stylommatophora: Bulimulidae) in row crops. *Frontiers in Insect Science*, 2, 1056545.
- Sánchez MA (2014). Aplicación de un diseño BACI para la evaluación de impacto antrópico mediante poliquetos indicadores y la estructura de la comunidad intermareal de *Brachidontes rodriguezii*. PhD Thesis, National University of Mar del Plata, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, 206 pp
- Segura B.S.G. (2005). Las especies introducidas: ¿benéficas o dañinas? In: Sánchez O., E. Peters R., Márquez-Hutizil E., Vega G., Portales M., Valdés y D. Azura (eds). Temas sobre restauración Ecológica. Diplomado en restauración ecológica, INE-SEMARNAT, México, pp. 127-133
- Silveira Jr., N. & Couto, F. R. (2023). Assentamento Natural da Espécie Exótica *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), Mexilhão do Mediterrâneo, na Baía Sul da Ilha de Santa Catarina – Brasil, nos Primeiros Anos de Sua Invasão. X Aquaciência – Congresso Brasileiro de Aquicultura e Biologia Aquática. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Simberloff, D., Schmitz, D. & Brown, T. (1997). Strangers in paradise. Impact and management of nonindigenous species in Florida. Island Press. Washington, D.C.
- Sosa, A. J., Jiménez, N. L., Faltlhauser, A. C., Righetti, T., Mc Kay, F., Bruzzone, O. A., & Fernández Souto, A. (2021). The educational community and its knowledge and perceptions of native and invasive alien species. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- South, A. (2017). Rnaturalearth: World Map Data from Natural Earth. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/rnaturalearth/index.html>.
- Spotorno-Oliveira, P.; Lopes, R. P.; Larroque, A.; Monteiro, D.; Dentzien-Dias, P. & de Souza Tamega, F. T. (2020). First detection of the non-indigenous gastropod *Rapana venosa* in the southernmost coast of Brazil. *Continental Shelf Research*, 194, 104047.

- Strayer D.L. (2010). Alien species in fresh waters: Ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology*, 55: 152-174.
- Susanto G.N. (2021). Crustacea: The Increasing Economic Importance of Crustaceans to Humans. In *Arthropods-Are They Beneficial for Mankind?* IntechOpen: Bandar Lampung, Indonesia, Volume 232.
- Torres, P.J. & Gonzalez Pisani X. (2016). Primer registro del cangrejo verde, *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758), en Golfo Nuevo, Argentina: un nuevo límite norte de distribución en costas patagónicas. *Ecología Austral*, 26(2):134-137
- Torres, S.H.; M. de Lucía; D.E. Gutiérrez Gregoric & G Darrigran (in press) Freshwater mussel conservation in southern South America: update on distribution range and current threats. *Aquatic Science*. 2024
- Tsirintanis, K.; Azzurro, E.; Crocetta, F.; Dimiza, M.; Frogliá, C.; Gerovasileiou, V.; Langeneck, J.; Mancinelli, G.; Rosso, A.; Stern, N.; Triantaphyllou, M.; Tsiamis, K.; Turon, X.; Verlaque, M.; Zenetos, A. & Katsanevakis, S. (2022). Bioinvasion impacts on biodiversity, ecosystem services, and human health in the Mediterranean Sea. *Aquatic Invasions*, 17 (3), pp.308-352.
- Vallarino EA & Elías R (1997). The dynamics of an introduced *Balanus glandula* population in the Southwestern Atlantic rocky shores. The consequences on the intertidal community. *Marine Ecology*. 18:319-335. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1997.tb00445.x>
- Vallarino EA (2002). La comunidad bentónica intermareal de *Brachidontes rodriguezii* (D^oOrb.) y su relación con el efluente cloacal de la ciudad de Mar del Plata (38° S). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina. 186 pp.
- Vallarino EA, Rivero MS, Gravina MC & Elías R (2002). The community-level response to sewage impact in intertidal mussel beds of the Southwestern Atlantic, and the use of the Shannon index to assess pollution. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 37:25-33.

- Verbrugge, L. N., Dawson, M., Gettys, L. A., Leuven, R. S., Marchante, H., Marchante, E. & Vanderhoeven, S. (2021). Novel tools and best practices for education about invasive alien species. *Management of Biological Invasions* 12(1): 8–24
- Vitousek, P.M.; C.M. D'Antonio; L.L. Loope & R. Westbrooks (1996) Biological Invasions as Global Environmental Change. *American Scientist*, 84: 468-478
- Vilches, A. (2011). Las invasiones biológicas en el campo conceptual de la biodiversidad: Un concepto clave para la educación ambiental en la formación docente. Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.
- Vilches, A. M. (2022). La conceptualización de especie exótica y bioinvasiones en libros de texto del nivel secundario de educación en Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, España.
- Vilches, A., Arcarúa, N. & Darrigran, G. (2010). Introducción a la Biología de las Invasiones. *Boletín Biológica*. Nº 17. 14-19.
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I. & Darrigran, G. (2014). El conocimiento de los estudiantes del Profesorado en Ciencias Biológicas sobre " especie exótica" y " bioinvasiones" en Argentina. *Revista Bio-grafía*, 7(12),10-18.
- Vilches, A. M., Legarralde, T. I., Ramírez, S. & Darrigran, G. A. (2015). Conocimiento y valoración de la biodiversidad en estudiantes del último año de profesorado de biología y geografía de Argentina. *Revista de Educación en Biología*,18(2), 46-58.
- Vilches, A., Acosta, R., Barra, R. & Fernández, J. (2018). Evaluación del conocimiento sobre biodiversidad, especies exóticas y nativas en estudiantes de escuelas secundarias de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Educación en Biología - Número Extraordinario*, 362-367.

Welcomme, R.L. (1988). International introductions of inland aquatic species. FAO Fish. Tech. 294. 318 p. <http://www.fao.org/docrep/X5628E/X5628E00.htm>

Wickham, H. (2018) Tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html>.

Zhan, A., E. Briski, D. G. Bock, S. Ghabooli & H. J. MacIsaac (2015). Ascidians as models for studying invasion success *Mar Biol* (2015) 162:2449–2470

