



POLIQUETOS PERFORADORES DE CONCHAS MARINAS Y EXÓTICOS INVASORES

Tovar-Hernández M.A., M.E. García-Garza y J.A. de León-González

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias
Biológicas, Laboratorio de Biosistemática, San Nicolás de los Garza,
Nuevo León, México.

Autor para correspondencia: maria_ana_tovar@yahoo.com

RESUMEN

En esta contribución se enfatiza la importancia de los gusanos poliquetos perforadores de moluscos de interés comercial en México y del estudio de las especies exóticas invasoras. Asimismo, se presenta el estado del conocimiento de ambos rubros en México. Es necesario sensibilizar a los tomadores de decisiones sobre la necesidad de apoyar proyectos de investigación y contrataciones en los dos temas. Recomendamos modificar la sección de poliquetos de la Lista de especies exóticas invasoras en México, publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2016.



Palabras clave: *Annelida, Polychaeta, acuicultura, biota portuaria, especies introducidas.*

INTRODUCCIÓN

Cuando alguien fuera del gremio biológico nos pregunta: ¿qué estudias? o ¿a qué te dedicas?, solemos decir que estudiamos o investigamos gusanos marinos. Lo primero que podría venir a la mente del interrogador es una imagen de una lombriz o de un ciempiés caminando en la arena de una playa o nadando en el mar. No es una imagen descabellada, porque algunos gusanos marinos asemejan mucho a los ciempiés o milpiés y, de hecho, están emparentados con las lombrices de tierra y con las sanguijuelas, y se pueden encontrar desde el área de playa hasta las zonas más profundas del mar.

Los gusanos marinos a los que nos referimos son anélidos poliquetos, un grupo muy diverso de invertebrados que está formado por 80 familias, 1000 géneros y más de 12700 especies que se distribuyen prácticamente en todos los ecosistemas bénticos marinos, donde a menudo son el componente dominante en términos de número de individuos y especies (Rouse y Pleijel, 2001; Costello et al. 2013).

No obstante, los poliquetos han logrado invadir con éxito el ambiente pelágico, cuerpos de agua dulce e inclusive el medio terrestre: nueve familias son consideradas holopláncticas (ca. 95 especies) exclusivas de ecosistemas pelágicos de mar abierto (Suárez-Morales et al. 2005); aproximadamente 168 especies son dulceacuícolas y unas 10 especies de la familia Nereididae son semi-terrestres y arbóreas, propias de los bosques húmedos tropicales, ya sean asociados a hojas en descomposición, en hojas de plataneros o de palmas (*Pandanus*), y en cultivos de arroz (Glasby, 1999; Glasby et al. 2000; Glasby y Timm, 2008).

El éxito del grupo está relacionado con su considerable complejidad estructural, gran variedad morfológica y alta diversidad funcional, mismas que representan las adaptaciones a los diversos ambientes que habitan. En esta contribución hablaremos de los gusanos poliquetos perforadores de moluscos de interés comercial en México y de especies exóticas invasoras, con la intención de divulgar el estado del conocimiento actual en el país. También esperamos sensibilizar a los tomadores de decisiones sobre la necesidad de apoyar proyectos de investigación en ambos tópicos. Además, recomendamos algunos cambios a la Lista de especies exóticas invasoras en México publicada en el DOF, 2016.

PERFORADORES DE CONCHAS DE MOLUSCOS DE INTERÉS COMERCIAL

Aunque la gran mayoría de los poliquetos son organismos de vida libre, existen unas 370 especies simbioses obligados o facultativos (Martin y Britayev, 1998; Britayev y Antokhina, 2012). Existen varios poliquetos perforadores de conchas de moluscos, ya sean estos moluscos vivos o muertos (barrenan conchas deshabitadas). En el primer caso, la interacción suele ser negativa, por lo que se les llama parásitos perforadores. Son plagas que, si bien no están interesadas en el cuerpo del molusco como tal, buscan una casa la cual habitar, que viene siendo la concha.

A continuación, presentamos dos especies de poliquetos espionidos y un sabélido, reportados como barrenadores del ostión japonés o gigante en el Pacífico (*Crassostrea gigas*), del ostión americano

(*Crassostrea virginica*), del ostión de mangle (*Crassostrea rhizophorae*), de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) y del abulón rojo (*Haliotis rufescens*).

MOLUSCOS

Ostiones del Pacífico *Crassostrea gigas*, ostión americano *C. virginica* y el ostión de mangle *Crassostrea rhizophorae*. (Figura 1A-B)

Algunas especies de espionidos del género *Polydora* (Figura 1C) ocasionan importantes pérdidas económicas en diversos moluscos de interés comercial a nivel mundial (Mortensen et al. 2000; Boscolo y Giovanardi, 2002; Leonart et al. 2003). Las perforaciones de estos gusanos inducen al ostión a formar ampollas de lodo en la superficie interna de las valvas de los moluscos, mismas que reducen su resistencia y demeritan su

Figura 1. Ostiones cultivados en México. A) Ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* cultivado en el Mavíri, Sinaloa. B) Ostión americano *C. virginica* cultivado en la Laguna del Ostión, Barrillas, Veracruz, mostrando una prominente ampolla de lodo producida por el poliqueto parásito *Polydora* en una de sus valvas. C) Gusano perforador del ostión *Polydora* sp. Fotografías A-B: Humberto Bahena Basave, C: Geoffrey Read.



calidad para venderse en concha (Figura 1B). Las ampollas acumulan materia orgánica en su interior, y cuando se rompen liberan un olor fétido (Radashevsky et al. 2006; Delgado-Blas, 2008).

Las especies del género *Polydora* afectan a los moluscos hospederos con diferente magnitud, dependiendo del grado de infestación y condiciones locales; los tubos favorecen infecciones secundarias por bacterias; las protuberancias en la concha pueden atrofiar y desprender el músculo abductor; y la pérdida de resistencia de la concha también facilita la depredación.

En la mayoría de los casos las infestaciones repercuten negativamente en los cultivos comerciales, incluso provocan mortalidades extendidas (Chambon et al. 2007).

La actividad perforadora de *Polydora* puede ocurrir mediante un mecanismo químico o físico. En el primer caso, es por la secreción de fosfatasa ácida y anhidrasas carbónicas que disuelven o debilitan la matriz de carbonato de calcio de la concha. En el segundo caso, el gusano utiliza unas setas especializadas que presenta en uno de los segmentos anteriores del cuerpo (setígero 5). La combinación de ambos mecanismos permite la construcción de galerías, en las cuales se acumula lodo; conforme el gusano sigue perforando, llega a la cavidad del manto. Los bivalvos, como respuesta a esta afectación, secretan mayor cantidad de conquiolina para sellar la cavidad del manto y aislar al gusano. Todo ello implica un fuerte gasto energético que debilita la condición fisiológica del bivalvo, haciéndolo vulnerable a las enfermedades (González-Ortiz et al. 2018).

El ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*, originario del norte de Japón, es uno de los bivalvos con mayor importancia comercial en el mundo (Figura 1A). Se producen casi 500 millones de toneladas al año con valor de \$820 MDD (FAO, 2011). La especie fue introducida por primera vez en México (San Quintín, Baja California) en 1973. El cultivo pronto se extendió a Baja California, Baja California Sur y Sonora (Lavoie, 2005), y posteriormente, en Sinaloa, Nayarit y Jalisco.

En México existen pocos estudios sobre el impacto de estos poliquetos en la producción de bivalvos.

Cáceres-Martínez et al. (1998) compararon la infestación de *Polydora* sp., en algunos sitios del cultivo de ostión *C. gigas* en Baja California Sur y enfatizaron que estos espiónidos constituyen una amenaza para la ostricultura debido al daño ocasionado en la apariencia del ostión y los consecuentes problemas en su comercialización.

En la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, Gallo-García et al. (2001) registraron la presencia de poliquetos perforadores en los cultivos experimentales de *C. gigas*. Posteriormente, Gallo-García et al. (2007) determinaron una prevalencia del 100% desde la décima semana de cultivo; una intensidad de 8.7 gusanos/ostión y bajos rendimientos a la cosecha (61 mm de longitud y 44.5% de supervivencia). Un año después, Gallo-García et al. (2008) identificaron al causante del daño como *Polydora websteri*. No se han evaluado las pérdidas económicas que ocasiona *P. websteri*; sin embargo, se sabe que genera pérdidas en los productores locales. La infestación afecta la apariencia de la concha y el crecimiento del ostión, ocasionando una disminución de su precio en el mercado local, ya que, por su tamaño y desagradable apariencia, el comprador debe desconcharlo para su consumo en cóctel (Gallo-García et al. 2008).

Polydora websteri fue descrita para el atlántico estadounidense: Connecticut. Es una especie eurihalina de aguas someras y zonas intermareales con fondos blandos, la cual ha sido encontrada en 19 especies de moluscos, principalmente bivalvos y algunos gasterópodos (Martin y Britayev, 1998). Aunque afecta principalmente a *C. gigas*, también se han registrado daños en los ostiones *C. virginica*, *Saccostrea commercialis*, el mejillón *Mytilus edulis*, y las almejas *Mercenaria mercenaria* y *Pecten irradians* (Martin y Britayev, 1998). En el ostión de mangle *Crassostrea rhizophorae* de la Laguna de Términos, Campeche, también se ha reportado la presencia de *Polydora websteri* (García-Garza, 2015).

El ostión americano *C. virginica* es una especie nativa de la costa americana del Atlántico (Figura 1B), que se distribuye desde el Golfo de San Lorenzo en Canadá hasta la Laguna de Términos, Campeche, México. Su facilidad de reproducción y colecta lo convierten en uno de los organismos con mayor demanda dentro de la acuicultura, desde colectas manuales en sistemas

lagunares, hasta el desarrollo de bancos ostrícolas artificiales en los estados costeros del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Campeche (Vidal-Briseño et al. 2015), siendo para Veracruz, el principal recurso pesquero en términos de volumen (SAGARPA-CONAPESCA, 2012). Existen varios reportes de la infestación de *P. websteri* en *C. virginica* en Canadá y Estados Unidos (Powell et al. 2015; Clements et al. 2017) y en México fue reportada en Isla Verde, Veracruz desde hace varias décadas (Rioja, 1961).

Sin embargo, la identidad de *Polydora websteri* es un misterio aún dado que el gusano presenta una distribución cosmopolita y pertenece a un complejo de especies morfológicamente similares (complejo *Polydora*). Por ello, en México es necesario un estudio taxonómico detallado que sea respaldado con marcadores moleculares, para así corroborar fehacientemente, que *P. websteri* es el gusano barrenador que está presente en el país, y que no se trate de una especie indescrita o de alguna otra. Este procedimiento lo han hecho en otras áreas del mundo. Por ejemplo, en Nueva Zelanda se demostró que no solo *P. websteri* afecta las conchas de moluscos, sino también una segunda especie: *P. haswelli* (Read, 2010). Por su parte, Sato-Okoshi et al. (2017) demostraron que los registros de *P. uncinata* para Japón y Australia y los de *P. hoplura* para Sudáfrica son la misma especie. Por ello, es conveniente un estudio que aclare o corrobore el nombre de *P. websteri* en México, que independientemente de su identidad, el gusano es un problema que afecta la ostricultura.

El ostión de mangle *C. rhizophorae*, una especie ampliamente distribuida en los ecosistemas del Mar Caribe, vive en aguas someras hasta los 3 m de profundidad, está asociado principalmente a sustratos duros, especialmente a las raíces del mangle rojo donde forma colonias densas (Abbott, 1974). En las regiones pesqueras de Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán, la producción del ostión está basada en dos especies, *C. virginica* y *C. rhizophorae*, y es una de las pesquerías más importantes en la zona del Golfo de México. En términos generales, los estados que aportan mayor cantidad de ostión a la producción nacional son Veracruz y Tabasco (Global Biotech Consulting Group 13-001).

Nodipecten subnodosus: almeja mano de león

La almeja pectínida mano de león, *Nodipecten subnodosus*, es una de las especies de mayor interés económico en el Pacífico mexicano. En mayo del 2011, los pescadores de la Laguna Ojo de Liebre (Baja California Sur), reportaron la mortandad masiva de la mano de león. El tamaño de la población disminuyó considerablemente y el estado de salud de las almejas supervivientes también fue afectado. Al desconocer los factores que ocasionaron este fenómeno, se declaró la veda permanente (González-Ortiz, 2016).

Los causantes del fenómeno fueron dos invertebrados perforadores: una esponja y un poliqueto espionido (*Polydora* sp.). Como ya se mencionó, el barrenador alcanza la cavidad del manto y esto estimula la secreción de conculina para mantenerlo aislado, creando una ampolla (González-Ortiz, 2016). Como en otros casos, el gasto energético durante la secreción de conculina retarda el crecimiento, aumenta la mortalidad (Almeida et al. 1996) y reduce la capacidad para acumular reservas nutricionales, debilitando la condición fisiológica de la almeja y haciéndolo vulnerable a las enfermedades (Wargo y Ford, 1993).

En un trabajo reciente, se cuantificó el daño ocasionado por *Polydora* y las variaciones del crecimiento de la mano de león durante tres años. Se reportó una tasa de infestación del 40% en almejas pequeñas (4.5-8.0 cm), y hasta 13 ampollas (2 en promedio). Estos organismos pequeños presentan malformaciones en las valvas. Se piensa que la infestación ocurre en esta etapa porque es cuando la mano de león inicia su actividad reproductiva y de desove, en la que reduce su condición nutricional y en la que está más expuesta a la presencia de organismos perforadores (González-Ortiz et al. 2017).

No se ha definido la especie del perforador. De acuerdo con González-Ortiz (com. pers.), la especie semeja otras descritas para Taiwán, por lo que podría tener esta un origen asiático. Muchas especies de *Polydora* han sido reportadas como invasoras en varias partes del mundo (Blake y Kudenov, 1978; Radashevsky y Hsieh, 2000; Radashevsky, 2005). Su potencial de dispersión se atribuye a su traslado como larva en el agua de lastre de las embarcaciones, como adulto incrustado en los cascos de los barcos (Radashevsky y Selifonova, 2013).

e incluso, los gusanos pudieron ser trasladados con los bloques de ostiones o los adultos llevados como reproductores o sementales. Esta consideración es importante porque los *Polydora* incuban sus embriones dentro del tubo en cápsulas separadas. Teniendo esto en cuenta, González-Ortiz (com. pers.) sugiere que las embarcaciones de gran calado que arriban a la isla de Cedros para recibir y transportar la sal extraída y procesada en la salinera más grande del mundo localizada en Guerrero Negro (Exportadora de Sal, SA. de CV.), hacia el mercado internacional, pudieron transportar desapercibidamente a la *Polydora*, lo cual es una hipótesis de invasión viable.

El primer reporte de la afectación ocurrió en el 2011 y la detección de los agentes causantes del problema es un gran avance en la materia. No obstante, por un lado, es necesario generar información básica de la especie plaga (reproducción y ecología) que sirva para proponer planes de manejo y control. Asimismo, se debe evaluar si el poliqueto perforador ha logrado infestar otros moluscos de la zona, sean o no de interés comercial. Por otro lado, se debe alertar a los acuicultores a través de los comités estatales de sanidad acuícola, sobre la presencia y la detección temprana de esta plaga en otros bancos de moluscos de interés comercial de la costa occidental de la península de Baja California.

Haliotis rufescens: abulón rojo

A mediados de la década de los ochentas la industria de la acuicultura en California (Estados Unidos) comenzó la importación de abulón de Sudáfrica (*Haliotis midae*) para su cultivo. A inicios de los años 1990 se detectó una plaga que ocasionaba una deformación de los poros respiratorios, producía conchas quebradizas y ralentizaba el crecimiento del abulón rojo *H. rufescens* o inclusive, su muerte antes de alcanzar la talla comercial (Culver et al. 1997). El causante fue un poliqueto sabélido diminuto (1.5 mm de largo y 0.20 mm de ancho), esbelto y con la mitad posterior expandida en forma de bolsa, cuyo género y especie eran desconocidos para la ciencia.

Posteriormente, la especie fue descrita como *Terebrasabella heterouncinata* (Fitzhugh y Rouse, 1999) y se corroboró que fue introducida inadvertidamente a California con la importación del abulón sudafricano

(Kuris y Culver, 1999). En ese tiempo las granjas de abulón de California dependían de un número reducido de productores de larva, lo que ocasionó que la especie alcanzara rápidamente todas las granjas de California para 1995 (Moore et al. 2007). Dentro de las granjas cohabitan otras especies de gasterópodos mismas que el sabélido también logró infestar: *Tegula* spp, y *Lottia* spp (Culver y Kuris, 2000). Fuera de las granjas, *T. heterouncinata* viajó como larva en el agua de descarga de las granjas y logró establecerse en la zona intermareal, donde la infestación se limitó al área inmediata de descarga (<100 m de línea de costa), pero como la infestación fue detectada en una etapa temprana, la erradicación comenzó a las pocas semanas de su detección (Culver y Kuris, 2000). Fuera de la zona de granjas, la especie se ha detectado en acuarios públicos e instalaciones educativas que adquirieron animales infestados (Moore et al. 2007).

Debemos mencionar que hubo otras invasiones inesperadas fuera del territorio estadounidense. Por ejemplo, se remitió abulón rojo de California (*H. rufescens*), infestado con el sabélido perforador a granjas de Ensenada, Baja California, México, y Puerto Montt, Chile (Culver et al. 1997; Kuris y Culver, 1999). En Chile la plaga se registró en 2006 (Moreno et al. 2006) y aunque en México no existen registros oficiales de la presencia de *T. heterouncinata*, no se descarta la posibilidad de que la plaga se haya extendido, pues de acuerdo con la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2006), las granjas de abulón rojo y azul (*H. fulgens*) en México son intensivas y están limitadas a la costa occidental de la península de Baja California. Por ello, es necesario estudiar moluscos en esas áreas para determinar si persiste el sabélido y si pudo colonizar otros moluscos.

Las tres especies de poliquetos antes mencionadas (*Polydora websteri*, *Polydora* sp., y *T. heretouncinata*), además de ser perforadoras, son también especies exóticas en México. Esto no es de extrañarse, puesto que la acuicultura es una de las principales vías de introducción de especies exóticas en el mundo. En México, se cuenta con un análisis de riesgo para el sabélido tubícola *T. heretouncinata* así como su ficha técnica (Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera, 2012a).

A continuación, hablaremos sobre otras especies exóticas introducidas o con un alto potencial de introducción en México que, si bien no son perforadoras

de moluscos de interés comercial, ocasionan impactos en las especies nativas, en el medio ambiente, en las embarcaciones y en la infraestructura portuaria.

EXÓTICOS INVASORES

Formadores de conglomerados arrecifales: *Ficopomatus* (Figura 2).

Ficopomatus es un género de poliquetos serpulidos de gran relevancia como especies exóticas invasoras en estuarios de varias partes del mundo. Forman conglomerados de varios cientos o miles de tubos calcáreos, por lo que parecen arrecifes en las lagunas costeras (Figura 2C). Algunos otros se cementan en los cascos y en las tuberías de las embarcaciones, ocasionando obstrucciones y un aumento considerable en el peso de las mismas (Tebble, 1953; Pernet et al. 2016). Otros forman grandes conglomerados en la base de los pilotes de muelles, de pilotes de granjas camaronícolas (Figura 2A-B) y también en raíces de mangle (Tovar-Hernández y Yañez-Rivera, 2012b). Inclusive, en el 2008, en la boca del Río Murray, Australia, una especie de *Ficopomatus* cubrió completamente los caparazones de dos especies de tortugas de agua dulce, con lo que el peso de las tortugas se incrementó tanto que limitó su movimiento y desplazamiento (Figura 2C, recuadro derecho) (Bower et al. 2012).

Ficopomatus enigmaticus, es la especie mejor conocida y estudiada del género en términos de biología y ecología. Fue descrita para Francia, pero algunos autores han sugerido Australia como su centro de origen (Zibrowius y Thorp, 1989) sin que se haya podido demostrar aún (Styan et al. 2017). En América, *F. enigmaticus* ha sido reportada como invasora en ambas costas de Estados Unidos (Texas y California), y también en Uruguay y Argentina (ten Hove y Weerdenburg, 1978; Muniz et al. 2005; Orensanz et al. 2002; Schwindt et al. 2001; Pernet et al. 2016). Quizá los impactos más notorios son los ocasionados en la laguna costera Mar Chiquita (Argentina), donde *F. enigmaticus* forma enormes conglomerados que se constituyen en arrecifes de hasta 7 m de diámetro y 0.5 m de altura. La laguna esta colonizada en un 85% por estas agrupaciones que dificultan la navegación y tienen grandes



Figura 2. Ejemplos de gusanos tubícolas del género *Ficopomatus* y sus afectaciones. A) *Ficopomatus miamiensis* en pilotes de una granja camaronícola en Mazatlán. B) Tubos calcáreos del gusano exótico. C) Pequeños arrecifes de *F. miamiensis* en la granja camaronícola, la imagen del recuadro izquierdo muestra el cuerpo del gusano sin su tubo y el recuadro derecho a la tortuga *Emydura macquarii* cubierta por tubos de *F. enigmaticus* en Australia. Fotografías: A, C: Sergio Rendón; B y recuadro izquierdo en C: Humberto Bahena Basave, recuadro izquierdo en C: modificada de Bower et al. 2012.

implicaciones ecológicas, ya que altera la estructura física de los hábitats bénticos (Schwindt et al. 2001, 2004a) y tiene diversos efectos directos e indirectos en las comunidades pláncnicas (Bruschetti et al. 2008) y bénticas nativas (Schwindt et al. 2001).

Ficopomatus enigmaticus aún no ha sido registrada en México, pero se ha encontrado en la bahía de San Francisco y en algunas marinas de San Diego, California (Bastida-Zavala, 2008), por lo que no se debe descartar su introducción en las lagunas costeras de Baja California. Ese serpulido figura en la lista de las “100 especies más invasoras en el Mediterráneo” (Streftaris y Zenetos, 2006).

Otra especie de *Ficopomatus* de relevancia para el territorio nacional es *F. miamiensis*, una especie caribeña registrada en el estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, donde está estrechamente relacionada con el cultivo de camarón (Figura 2A-C). La especie fue introducida hace 30 años cuando fueron importadas larvas de camarón desde Florida (Salgado-Barragán et al. 2004; Tovar-Hernández et al. 2009b); también se le ha encontrado en La Paz, Baja California Sur, asociado a la camaronicultura (Figura 3A) (Tovar-Hernández et al. 2014a).

En las granjas camaronícolas de Mazatlán, el impacto de *F. miamiensis* fue considerado positivo en los estanques de cultivo, debido a que las poblaciones de estos serpulidos (más de 230000 ind./m²) filtran el agua y controlan las partículas en suspensión; sin embargo, el impacto de las colonias incrustadas en las raíces de los mangles de la periferia de la granja es negativa, ya que el serpulido compite con otros invertebrados incrustantes nativos, en especial otros filtradores como cirrípedos, mejillones y ostiones (Tovar-Hernández et al. 2009, 2014a). Se cuenta con una ficha técnica y el análisis de riesgo de la especie para México (Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera, 2012b).

Una tercera especie es *F. uschakovi*, descrita para Sri Lanka, en el océano Índico. En América se ha reportado en Venezuela (Liñero-Arana y Díaz-Díaz, 2012), en el noreste de Brasil (de Assis et al. 2008) y en México asociada a raíces de mangle y moluscos en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas (Bastida-Zavala y García-Madrigal, 2012), y en una laguna costera de Veracruz (Laguna del Ostión en Barrillas, cerca de

Coatzacoalcos, Figura 3A-C) (Tovar-Hernández et al. en prep). Tanto en La Encrucijada como en Laguna del Ostión, se desconocen los impactos ambientales, por lo que es necesario el monitoreo de la especie introducida en ambos sitios, evaluar la dinámica poblacional y estudiar sus efectos en las comunidades nativas.

NAVEGANTES EXITOSOS

Entre los gusanos poliquetos, hay dos géneros cuyas especies se consideran navegantes exitosos, ya que son organismos cuyos juveniles y adultos se incrustan en los cascos y cabos de las embarcaciones, y sus larvas viajan en el agua de lastre de las mismas (Figura 4A-F). Así, han sobrevivido a viajes de larga duración, han colonizado y establecido poblaciones viables en varios puertos del mundo, donde se han convertido en plagas. Esos géneros son el sabélido *Branchiomma* y el serpulido *Hydroides*, ambos tubícolas de los que a continuación hablaremos.

Branchiomma (Figura 4F)

Branchiomma cuenta con varias especies invasoras alrededor del mundo (Capa et al. 2013; Keppel et al. 2015). Entre ellas, resalta *B. bairdi* (Figura 4F), un gusano originario del Caribe que se ha considerado introducida en las islas Canarias, el mar Balear, Madeira, Túnez, Australia, el Pacífico mexicano, Panamá y recientemente en California y Hawaii (Keppel et al. 2018).

En el Golfo de California, la especie es pequeña (hasta 4 cm) y muy abundante. Alcanza densidades hasta de 18000 ind./m² en sitios perturbados (marinas, puertos y granjas camaronícolas y ostrícolas), en sustratos artificiales (boyas, cascos de embarcaciones, cabos, muelles flotantes, y pilotes de concreto, fibra de vidrio y madera), como epibiontes de *Crassostrea gigas* y *C. sikamea*, y también en sustratos naturales (roca y madera) de una área natural protegida de La Paz, Baja California Sur (Tovar-Hernández et al. 2012; 2014a).

Branchiomma bairdi es capaz de expandirse rápidamente porque es hermafrodita simultánea, y se reproduce sexual y asexualmente (Tovar-Hernández et al. 2009a, b). Los individuos reproductores son abundantes durante todo el año, presenta cuidado



Figura 3. Ejemplos de gusanos tubícolas del género *Ficopomatus* y sus afectaciones. A) Granja camaronícola en Baja California Sur, en el recuadro se muestra una conglomeración de tubos de *F. miamiensis*, la cual queda descubierta una vez que se vacían los estanques de cultivo. B) Ostión *Crassostrea virginica* cubierto por tubos de *Ficopomatus uschakovi* en la Laguna del Ostión, Barrillas, Veracruz. C) Tubo calcáreo del gusano exótico, en el recuadro se muestra el cuerpo del gusano sin su tubo. Fotografías A-C: Humberto Bahena Basave.



Figura 4. Actividad portuaria y biota navegante. A) Embarcación vertiendo agua de lastre en el puerto de Topolobampo. B) Crucero turístico en el puerto de Mazatlán. C) Mantenimiento de un buque petrolero en un astillero de Mazatlán. D) Cabo de un yate en el puerto de Veracruz cubierto por organismos marinos incrustantes. E) Gusano serpúlido *Hydroides* sp. recolectado en las paredes de un barco en el puerto de La Paz, BCS, F) Gusano sabélido exótico invasor *Branchiomma bairdi* recolectado en una boya de señalización marítima en el puerto de Topolobampo, Sinaloa. Fotografías: A, E-F: Humberto Bahena Basave; B-D: María Ana Tovar.

de larvas y es tolerante a un amplio intervalo de temperatura y salinidad, e incluso, tolera largos periodos de desecación (Tovar-Hernández et al. 2011; Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera, 2012c).

Es un gusano que puede desplazar a la comunidad incrustante esclerobionte (organismos que se adhieren a sustratos duros de origen antropogénico) nativa ya que su densidad supera en más de cinco órdenes de magnitud la densidad acumulada de nueve especies de sabélidos y serpúlidos nativas en un estero de Mazatlán. No se ha cuantificado el impacto económico particular de *B. bairdi* en las localidades mexicanas donde se ha reportado; sin embargo, junto con otros organismos incrustantes o esclerobiontes (balanos, poliquetos serpúlidos y moluscos, entre otros), favorece la corrosión de los sustratos metálicos, ocasionando pérdidas económicas a la industria portuaria y a la industria naviera, quienes invierten capital para mantener limpias las estructuras y usar pinturas anti-incrustantes.

Además, en el Golfo de California, este gusano tubícola invasor es parte de un ensamble de especies invasoras que incluye ascidias (*Botryllus schlosseri*, *Botrylloides nigrum*, *Botrylloides violaceus* y *Polyclinum constellatum*), briozoos (*Bugula neritina*) y copépodos (*Haplostomides hawaiiensis*). Las primeras tres ascidias y el briozoo son epizoicos adheridos a los tubos de *B. bairdi*. El copépodo es endoparásito de la papa de mar (*P. constellatum*), sobre la que *B. bairdi* adhiere sus tubos (Tovar-Hernández et al. 2010; Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera, 2012c). Todas ellas se han encontrado en los grandes puertos del mundo, por lo que la navegación parece ser la principal vía de introducción y dispersión de estas especies esclerobiontes.

Hydroides (Figura 4E)

Hydroides también tiene varios representantes invasores en puertos de todo el mundo (Link et al. 2009; Otani y Yamanishi, 2010). Sus tubos también forman densas agregaciones en

estructuras sumergidas como tuberías, pilotes, embarcaciones, boyas, cabos, cajas de siembra, etc., por lo que causan afectaciones en la acuicultura, en la navegación y en las plantas de generación de energía (Sun et al. 2015). La especie más estudiada es *H. elegans*, una especie de origen australiano (Sun et al. 2015), o criptogénica (de origen desconocido) para otros autores (Bastida-Zavala et al. 2017). Es uno de los organismos incrustantes más problemáticos en las aguas tropicales y templadas del mundo (ten Hove y Weerdenburg, 1974).

Compite por espacio, alimento y otros recursos con otras especies de esclerobiontes; además, es capaz de colonizar una superficie de forma rápida y con alta densidad. En Japón, causó pérdidas millonarias en la pesquería de ostión japonés, provocando la mortalidad de hasta el 60% (Arakawa, 1971; Hirata y Akashige, 2004), así como daños a las embarcaciones y a las estructuras portuarias y marítimas y también está en la lista de las “100 especies más invasoras en el Mediterráneo” (Streftaris y Zenetos, 2006).

La especie se ha establecido exitosamente en Estados Unidos, mar Mediterráneo, mar del Norte, Golfo Pérsico, entre otros sitios (Bastida-Zavala, 2008). Es una especie hermafrodita protándrica, tiene fecundación externa y del huevo surge una larva nadadora (Kupriyanova et al. 2001). El número de individuos detectados en La Paz, Baja California Sur (>1000 ind.) (Bastida-Zavala, 2008), y las densidades de 55-110 ind/m² en localidades de Sinaloa, 16 ind/m² en Sonora, y 16-152 ind/m² en Baja California Sur, sugieren que existen varias poblaciones establecidas autosuficientes en el golfo de California (Tovar-Hernández et al. 2014a).

MARCO LEGAL EN MÉXICO SOBRE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

México cuenta con una Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010) y recientemente fue publicada en el Diario Oficial de la Federación una lista de especies exóticas invasoras en el país (DOF, 2016). En dicha lista se incluyeron seis de las especies comentadas en esta nota: *Branchiomma*

bairdi, *Ficopomatus enigmaticus*, *F. miamiensis*, *F. uschakovi*, *Hydroides elegans* y *Terebrasabella heterouncinata*, así como siete más (*Salvatoria clavata*, *Branchiomma curtum*, *Hydroides bispinosus*, *H. diramphus*, *Prionospio malgreni*, *Pseudopolydora kemp* y *P. paucibranchiata*). Dado que el acuerdo entró en vigor al día siguiente de su publicación (8 de diciembre de 2016), las 13 especies ya son prohibidas en el país.

La lista es un instrumento legal y requiere modificaciones ya que incluye especies que no son exóticas invasoras o que se trata de registros erróneos para el país; excluye especies que sí son exóticas invasoras y que ameritan reglamentación; e incluye una especie que es exótica en el Pacífico mexicano, más no en Veracruz, pues su rango de distribución natural corresponde al Golfo de México.

El trabajo de Okolodkov et al. (2007) constituye el primer esfuerzo en el país por compilar la información de las especies acuáticas exóticas en México y su relevancia es indiscutible. Sin embargo, algunas de las especies contenidas en esas listas no cumplen con la definición de especie exótica y los criterios que utilizaron los autores para incluir dichas especies no fueron indicados, y la bibliografía que originalmente reporta tales especies en el país no fue incluida. Posteriormente, Bastida-Zavala et al. (2014) en su compilación incluyen otras especies adicionales a Okolodkov et al. (2007). Quizá las especies listadas en el DOF (2016) fueron tomadas de esas dos compilaciones, pues por lo menos la última es un capítulo de un libro editado por la CONABIO, organismo en el que recae todo lo relacionado con el área de especies exóticas en el país. Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera (2012d) enfatizaron la necesidad de actualizar la información de referencia sobre las especies exóticas en México y propusieron un esquema para hacerlo en cada grupo de invertebrados acuáticos.

Con base en ello, se cuenta con una revisión de los registros y una lista depurada de las especies exóticas presentes por lo menos para el Pacífico mexicano (Villalobos-Guerrero et al. 2012). Aunque ese no es un trabajo concluyente, es una buena base de la cual partir, pues conforme se va generando información de cada especie, la lista se va actualizando.

Especies que deben ser excluidas: *Salvatoria clavata*, *Branchiomma curtum*, *Hydroides bispinosus* y *Prionospio malgreni*. De acuerdo con San Martín (2005), existen diferencias en estructuras de la faringe y setas entre ejemplares referidos como *S. clavata*, por lo que esta última es un complejo de especies morfológicamente diferenciables. San Martín (2005) sugirió, además, que los registros de la especie en México representarían nuevas especies para la ciencia. Con respecto a *B. curtum*, Keppel et al. (2015) sugieren que los registros de la especie en el Caribe mexicano pueden ser erróneos puesto que tanto los sintipos de *B. curtum* como los ejemplares reportados en México corresponden a juveniles producidos asexualmente por fisión, y los caracteres diagnósticos de los adultos no son diferenciables en estado juvenil. *Hydroides bispinosus* fue descrita para Bermuda y se ha reportado en Campeche y Quintana Roo (Bastida-Zavala y ten Hove, 2002), donde no debe considerarse exótica, por lo que también debe excluirse de la lista. *Prionospio malgreni*, especie descrita con material del Golfo de Nápoles, fue reportada para el Pacífico mexicano por Fauchald (1972) pero de acuerdo con Maciolek (1985), esos ejemplares corresponden a otra especie (*P. anuncata*), por lo que también debe excluirse de la lista.

Especie que debe ser incluida: *Polydora cf. websteri* e *Hydroides sanctaecrucis*. Ambas especies se encuentran establecidas en México (Villalobos-Guerrero et al. 2012) y como se mencionó antes, la primera es una especie perforadora de moluscos de interés comercial y la segunda es miembro de un género con varios representantes invasores, por lo que amerita la inserción de ambas en la lista. La inclusión de *H. sanctaecrucis* requiere, además, una nota que clarifique que es introducida en el Pacífico mexicano, más no en el lado Atlántico. La inserción de *Polydora websteri* como *Polydora cf. websteri* obedece a un principio de precaución, porque es necesario un estudio taxonómico que ratifique su identidad, de preferencia que contemple la comparación morfológica y molecular con el material tipo o topotipo (de Connecticut, Estados Unidos).

Aclaración: La lista debe enfatizar que *F. miamiensis* es exótica invasora solo en el Pacífico mexicano, ya que sus registros en Veracruz caen dentro del rango de distribución natural de la especie.

En teoría, las especies incluidas en la lista del DOF deben contar con un análisis de riesgo que respalde su inserción. No obstante, solo 10 de las 13 especies de gusanos poliquetos de la lista cuentan con análisis de riesgo a través del Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México propuesto por la CONABIO (Barrios Caballero et al. 2014). Dichos análisis se pueden consultar en la página del gobierno federal (<https://www.gob.mx>), pero ninguno de ellos indica la autoría y la información contenida en gran medida procede de fichas de especies en otros países y portales relacionados a especies invasoras: NIMPIS (National Introduced Marine Pest Information System), GISD (Global Invasive Species Database), CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International), entre otras.

Por lo anterior, se sugiere que los análisis de riesgo sean elaborados por especialistas en el grupo, pues los valores de invasividad podrían variar dependiendo de la calidad de la información, de su análisis e interpretación y de su valor asignado. Por ejemplo, en contribuciones previas, Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera (2012a, b, c) proporcionaron fichas técnicas completas y análisis de riesgo para *B. bairdi*, *F. miamiensis* y *T. heterouncinata*, los cuales fueron divulgados en una publicación formal, revisada por pares.

En ellas se hizo una búsqueda exhaustiva de información acerca de la especie, dando prioridad a artículos científicos y postergando información de blogs o páginas webs, además de la inserción de información inédita sobre la biología y ecología de las especies.

PARADOJA

La paradoja no es nueva. En su territorio continental, insular, costero y marino, México cuenta prácticamente con todos los ecosistemas viables para albergar gusanos poliquetos. Tovar-Hernández et al. (2014b) indican que en México hay unas 1500 especies formalmente registradas, repartidas en 63 familias y 460 géneros, pero dichos autores estiman que el total de especies en el país, incluyendo todos sus litorales y zonas de aguas profundas, sería entre 3000 y 3400 especies. Entonces, no se podrían estudiar los impactos de las especies exóticas

invasoras en el medio ambiente si se desconoce la composición de la biota nativa.

En ese sentido, la taxonomía como disciplina fundamental en la biología es indispensable para la determinación de especies nativas, indicadoras o exóticas y para actividades de monitoreo. Sin embargo, ya otros colegas han alertado sobre la problemática en Latinoamérica y en particular para México sobre la crisis de la taxonomía como ciencia (Salazar-Vallejo et al. 2007, 2008).

La ruta crítica propuesta por Salazar-Vallejo et al. (2008) para hacer frente a esta problemática contempla entre otros aspectos, el incrementar el financiamiento gubernamental disponible y darle prioridad al tema; y la creación de nuevas plazas para los especialistas. Estas plazas deben incluir, de manera integral, la sistemática (morfológica y molecular), la biología y la ecología de las especies exóticas invasoras, y con ello determinar los impactos de estas en el ambiente y en la economía, e inclusive su comportamiento frente al cambio climático.

Por su parte, el gremio poliquetológico en México unió interés y esfuerzo para plantear una iniciativa a nivel nacional. El "Programa Nacional de Biota Portuaria" de Salazar-Vallejo et al. (2014), considera como eje principal el generar información taxonómica y ecológica, y obtener la secuencia del gen mitocondrial

COI, con el fin de conocer la composición de la biota residente y facilitar la detección de especies exóticas introducidas. Para implementar dicho programa, los autores de esta nota y ocho especialistas más de El Colegio de la Frontera Sur (Chetumal y Campeche), del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, del Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas, la Universidad de Quintana Roo y la Universidad del Mar, sometieron la iniciativa a dos convocatorias del CONACYT sin que a la fecha haya sido beneficiada a pesar de su pertinencia, de su solidez científica, técnica y presupuestaria, y de su carácter multidisciplinario.

La Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras debería ir acompañada de un presupuesto federal anual, que sea destinado a atender sus objetivos estratégicos. De otro modo, la estrategia deviene obsoleta, pues sus metas, acciones prioritarias y resultados esperados no se podrán alcanzar en la fecha propuesta, que fue planeada para el 2020.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Humberto Bahena Basave (ECOSUR) y Sergio Rendón Rodríguez (ICML) por tomar las fotografías que acompañan este trabajo. Sergio I. Salazar-Vallejo (ECOSUR) nos hizo recomendaciones valiosas para mejorar la nota.



LITERATURA CITADA

- Abbott, R.T. Bivalvia. En: American seashells. 2nd Ed. Van Nostrand Reinhold Ltd., New York, 409-567 pp. 1974.
- Almeida, M. J., G. Moura, J. Machado, J. Coimbra, L. Vilarinho, C. Ribeiro, P. Soares-da Silva. 1996. Amino acid and metal content of *Crassostrea gigas* shell infested by *Polydora* sp. in the prismatic layer insoluble matrix and blister membrane. *Aquatic Living Resources*. 9 (2): 179-186. DOI10.1051/alr:1996021
- Arakawa, K. 1971. Notes on a serious damage to cultured oyster crops in Hiroshima caused by a unique and unprecedented outbreak of a serpulid worm, *Hydroides norvegica* (Gunnerus) in 1969. *Venus*. 30: 75-81.
- Barrios Caballero, Y., G. Born-Schmidt, A. I. González Martínez, P. Koleff Osorio, R. Mendoza Alfaro. 2014. Capítulo 6. *Avances en el desarrollo de criterios para definir y priorizar especies invasoras*. Pp: 113-121. En: Mendoza, R. & P. Koleff (Coords). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 555 pp.
- Bastida-Zavala, J.R., Ten Hove, H.A. 2002. Revision of *Hydroides* Gunnerus, 1768 (Polychaeta: Serpulidae) from the Western Atlantic region. *Beaufortia* 52, 103-178.
- Bastida-Zavala, J. R. 2008. Serpulids (Annelida: Polychaeta) from the Eastern Pacific, including a brief mention of Hawaiian serpulids. *Zootaxa*. 1722: 1-61.
- Bastida-Zavala, J. R., S. García-Madrigal. 2012. First record in the Tropical Eastern Pacific of the exotic species *Ficopomatus uschakovi* (Polychaeta, Serpulidae). *Zookeys*. 238: 45-55. doi: 10.3897/zookeys.238.3970.
- Bastida-Zavala, J. R., L. D. McCann, E. Keppel, G. M. Ruiz. 2017. The fouling serpulids (Polychaeta: Serpulidae) from United States coastal waters: an overview. *European Journal of Taxonomy*. 344: 1-76. <https://doi.org/10.5852/ejt.2017.344>
- Bastida-Zavala, J. R., J.Á. de León-González, J. L. Carballo, B. Moreno-Dávila. 2014. *Invertebrados bénticos exóticos: esponjas, poliquetos y ascidias*. Pp. 317-336. En: Mendoza, R. & P. Koleff (Coords.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 555 pp.
- Blake, J. A., J. D. Kudenov. 1978. The Spionidae (Polychaeta) from Southeastern Australia and adjacent areas with a revision of the genera. *Memoirs of the National Museum of Victoria*. 39: 171-280.
- Boscolo, R., O. Giovanardi. 2002. *Polydora ciliata* shell infestation in *Tapes philippinarum* Manila clam held out of the substrate in the Adriatic Sea, Italy. *Journal of Invertebrate Pathology*. 79 (3): 197-198. DOI10.1016/S0022-2011(02)00029-0
- Bower, D., C. E. Death, A. Georges. 2012. Ecological and physiological impacts of salinisation on freshwater turtles of the lower Murray River. *Wildlife Research*. 39 (8): 705-710. <https://doi.org/10.1071/WR11214>
- Britayev, T. A., T. I. Antokhina. 2012. Symbiotic polychaetes from Nhatrang Bay, Vietnam. Pp.11-54. En: Britayev, T. A. & D. S. Pavlov (eds). *Benthic fauna of the Bay of Nhatrang, Southern Vietnam*, Chapter: 1, Publisher: KMK Scientific Press.
- Bruschetti, M., T. Luppi, E. Fanjul, A. Rosenthal, O. Iribarne. 2008. Grazing effect of the invasive reef-forming polychaete *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel) on phytoplankton biomass in a SW Atlantic coastal lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 354: 212-219. doi:10.1016/j.jembe.2007.11.009
- Cáceres-Martínez, J., P. Macías-Montes de Oca, R. Vásquez-Yeomans. 1998. *Polydora* sp. infestation and health of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Baja California, NW Mexico. *Journal of Shellfish Research*. 17 (1): 259-264.
- Capa, M., J. Pons, P. Hutchings. 2013. Cryptic diversity, intraspecific phenetic plasticity and recent geographical translocations in *Branchiomma* (Sabellidae, Annelida). *Zoologica Scripta*. 42: 637-655, <https://doi.org/10.1111/zsc.12028>

- Chambon, C., A. Legeay, G. Durrieu, P. Gonzalez, P. Ciret, J. C Massabuau. 2007. Influence of the parasite worm *Polydora* sp. on the behaviour of the oyster *Crassostrea gigas*: a study of the respiratory impact and associated oxidative stress. *Marine Biology*. 152: 329-338.
- Clements, J. C., D. Bourque, J. McLaughlin, M. Stephenson, L. A. Comeau. 2017. Siltation increases the susceptibility of surface-cultured eastern oysters (*Crassostrea virginica*) to parasitism by the mudworm *Polydora websteri*. *Aquaculture Research*. 48 (9): 4707-4717. DOI: 10.1111/are.13292
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación*. CONABIO, SEMARNAT, CONANP, México, 114 pp.
- Costello, M. J., P. Bouchet, G. Boxshall, K. Fauchald, D. Gordon, B. W. Hoeksma, G. C. B. Poore, R. W. M. van Soest, S. Stöhr, T. C. Walter, B. Vanhoorne, W. Decock, W. Appeltans. 2013.
- Global coordination and standardization in marine biodiversity through the World Register of Marine Species (WoRMS) and related databases. *PLoS ONE*. 8 (1): e51629, 20 pp. doi:10.371/journal.pone.0051629.
- Culver, C. S., A. M. Kuris. 2000. The apparent eradication of a locally established introduced marine pest. *Biological Invasions*. 2: 245-253.
- Culver, C. S., A. M. Kuris, B. Beede. 1997. Identification and management of the exotic sabellid pest in California cultured abalone. California Sea Grant College System. La Jolla, CA, USA, 29 pp.
- de Assis, J. E., C. Alonso, M. L. Christoffersen. 2008. First record of *Ficopomatus uschakovi* (Pillai, 1960) Serpulidae (Polychaeta: Annelida) for the Western Atlantic. *Revista Nordestina de Biologia*. 19 (1): 51-58.
- Delgado-Blas, V. H. 2008. *Polydora* and related genera (Polychaeta: Spionidae) from the Grand Caribbean region. *Journal of Natural History*. 42 (1-2): 1-19.
- DOF. 2006. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. 25 de agosto de 2006.
- DOF. 2016. Lista de las especies exóticas invasoras para México. 07 de diciembre de 2016.
- Fauchald, K. 1972. Benthic polychaetous annelids from deep waters off western Mexico and adjacent areas in the eastern Pacific Ocean. *Allan Hancock Monographs in Marine Biology*. 7: 1-575.
- FAO Food and Agriculture Organization. 2011. Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. En: <http://www.fao.org/fishery/statistics/en> (consultado el 21/10/2011).
- Fitzhugh, K., G. W. Rouse. 1999. A remarkable new genus and species of fan worm (Polychaeta: Sabellidae: Sabellinae) associated with marine gastropods. *Invertebrate Biology*. 118 (4): 357-390.
- Gallo-García, M. C., M. García-Ulloa Gómez, D. E. Godínez-Siordia, A. H. Díaz, V. H. Delgado-Blas. 2008. *Polydora websteri* (Annelida: Polychaeta) en el ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* cultivado en Barra de Navidad, Jalisco. *Ciencia y Mar*. XII (35): 49-53.
- Gallo-García, M. C., D. E. Godínez-Siordia, G. M. García-Ulloa, K. Rivera-Gómez. 2001. Estudio preliminar sobre el crecimiento y sobrevivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México. *Universidad y Ciencia*. 17 (34): 83-91.
- Gallo-García, M. C., G. M. García-Ulloa, A. Rejón-Aviña, D. E. Godínez-Siordia, H. A. Díaz. 2007. Infestación de gusanos espionidos en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 11 (3): 73-83.
- García-Garza, M. E. 2015. Presencia del espionido perforador en *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) en la Laguna de Términos, Campeche

México. Memorias en V Congreso sobre Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad. La Habana, Cuba.

Glasby, C. J. 1999. The Namanereidinae (Polychaeta: Nereididae). Part 1. Taxonomy and phylogeny. Part 2. Cladistic biogeography. *Records of the Australian Museum Supplement*. 25: 1-144.

Glasby, C. J., P. A. Hutchings, K. Fauchald, H. Paxton, G. W. Rouse, C. Watson Russell, R. S. Wilson. 2000. Class Polychaeta. En: Beesley, P. L., G. J. B. Ross & C. J. Glasby (Eds.). *Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4A. Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula*. CSIRO Publishing, Melbourne, 1-296 pp.

Glasby, C. J., T. Timm. 2008. Global diversity of polychaetes (Polychaeta: Annelida) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 107-115.

Global Biotech Consulting Group 13-001. <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/documentos/peces/ostion.pdf>

González-Ortiz, L. 2016. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) y Esponjas (Porifera: Demospongiae) perforadores de la almeja Mano de León (Nodipecten subnodosus) en la Laguna Ojo de Liebre, Guerrero Negro, Baja California Sur, México*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, 179 pp.

González-Ortiz, L., P. Hernández-Alcántara, R. Vázquez-Juárez, E. Quiroz-Guzmán, M. E. García-Garza, J. A. de León-González. 2017. Variación espacial y temporal de la infestación de la concha por *Polydora* sp. (Spionidae: Polychaeta) sobre la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88: 845-852.

Hirata, Y., S. Akashige. 2004. The present situation and problems of oyster culture in Hiroshima Bay. *Bulletin of Fisheries Research Agency, Supplement*. 1: 5-12.

Keppel, E., M. A. Tovar-Hernández, G. Ruiz. 2015. First record of *Branchiomma coheni* (Polychaeta:

Sabellidae) along the US East coast and update of non indigenous species. *Zootaxa*. 4058 (4): 499-518.

Keppel E., M. A. Tovar-Hernández, G. Ruiz. 2018. New records of the non-indigenous species *Branchiomma bairdi* and *B. conspersum* (Polychaeta: Sabellidae) on the Pacific coast of North America. *BiolInvasions Records*. En prensa.

Kupriyanova, E. K., E. Nishi, H. A. ten Hove, A. V. Rzhavsky. 2001. A review of life history in serpulimorph polychaetes: ecological and evolutionary perspectives. *Oceanographic and Marine Biology: An Annual Review*. 39: 1-101.

Kuris, A. M., C. S. Culver. 1999. An introduced sabellid polychaete pest infesting cultured abalones and its potential spread to other California gastropods. *Invertebrate Biology*. 118 (4): 391-403.

Lavoie, R. E. 2005. Oyster culture in North America history, present and future. The First International Oyster Symposium Proceedings. Oyster Research Institute News 17, Sendai, Japan, 10 pp.

Link, H., E. Nishi, K. Tanaka, J. R. Bastida-Zavala, E. K. Kupriyanova, T. Yamakita. 2009. *Hydroides dianthus* (Polychaeta: Serpulidae), an alien species introduced into Tokyo Bay, Japan. *JMBA2 Biodiversity Records*. 6430: 1-6.

Liñero-Arana, I., O. Díaz-Díaz. 2012. Presencia del poliqueto exótico *Ficopomatus uschakovi* (Polychaeta: Serpulidae) en Venezuela: Descripción y comentarios sobre distribución. *Interciencia*. 37 (3): 234-237.

Lleonart, M., J. Handler, M. Powell. 2003. Spionid mudworm infestation of farmed abalone (*Haliotis* spp). *Aquaculture*. 221: 85-96.

Maciolek, N. J. 1985. A revision of the genus *Prionospio* Malmgren, with special emphasis to the genera *Apoprionospio* Foster, and *Paraprionospio* Caullery (Polychaeta: Spionidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*. 84: 325-383.

- Martin, D., T. A. Britayev. 1998. Symbiotic polychaetes: Review of known species: 36. Pp: 217-340. En: Ansell, A. D., R. N. Gibson & M. Barnes (Eds.). *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. UCL Press.
- Moore, J. D., C. I. Juhasz, T. T. Robbins, E. D. Grosholz. 2007. The introduced sabellid polychaete *Terebrasabella heterouncinata* in California: Transmission, methods of control and survey for presence in native gastropods populations. *Journal of Shellfish Research*. 26 (3): 869-876.
- Moreno, R., P. Neill, N. Rozbaczylo. 2006. Native and non-indigenous boring polychaetes in Chile: a threat to native and commercial mollusc species. *Revista Chilena de Historia Natural*. 79: 263-278.
- Mortensen, S. H., T. van der Meeren, A. Fosshagen, I. Hernar, L. Harkestad, O. Bergh. 2000. Mortality of scallop spat in cultivation, infested with tube dwelling bristle worms, *Polydora* sp. Short communication. *Aquaculture International*. 8 (2-3): 267-271.
- Muniz, P., J. Clemente, E. Brugnoli. 2005. Benthic invasive pests in Uruguay: a new problem or an old one recently perceived? *Marine Pollution Bulletin*. 50: 993-1018.
- Okolodkov, Y. B., J. R. Bastida-Zavala, A. L. Ibáñez, J. W. Chapman, E. Suárez-Morales, F. Pedroche, F. J. Gutiérrez-Mendieta. 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar*. 11 (32): 29-67.
- Orensanz, J. M., E. Schwindt, G. Pastorino, A. Bortolus, G. Casas, G. Darrigran, R. Elías, J. J. López-Gappa, S. Obenat, S. Pascual, P. Penchaszadeh, M. L. Piriz, F. Scarabino, E. D. Spivak, E. Vallarino. 2002. No longer the pristine confines of the world ocean: a survey of exotic marine species in the southwestern Atlantic. *Biological Invasions*. 4: 115-143.
- Otani, M., R. Yamanishi. 2010. Distribution of the alien species *Hydroides dianthus* (Verrill, 1873) (Polychaeta: Serpulidae) in Osaka Bay, Japan, with comments on the factors limiting its invasion. *Plankton and Benthos Research*. 5: 62-68.
- Pernet, B., M. Barton, K. Fitzhugh, L. H. Harris, D. Lizárraga, R. Ohl, C. R. Whitcraft. 2016. Establishment of the reef-forming tubeworm *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) (Annelida: Serpulidae) in southern California. *BiolInvasions Records*. 5 (1): 13-19.
- Powell, E. N., Y. Kim, D. Bushek. 2015. Temporal structure and trends of parasites and pathologies in U.S. oysters and mussels: 16 years of mussel watch. *Journal of Shellfish Research*. 34: 967-993.
- Radashevsky, V. I. 2005. On adult and larval morphology of *Polydora cornuta* Bosc, 1802 (Annelida: Spionidae). *Zootaxa*. 24: 1-24.
- Radashevsky, V. I., H. Hsieh. 2000. *Polydora* (Polychaeta: Spionidae) species from Taiwan. *Zoological Studies*. 39: 203-217.
- Radashevsky, V. I., Z. P. Selifonova. 2013. Records of *Polydora cornuta* and *Streblospio gynobranchiata* (Annelida, Spionidae) from the Black Sea. *Mediterranean Marine Science*. 14: 261-269. doi:10.12681/mms.415.
- Radashevsky, V. I., P. C. Lana, R. C. Nalesso. 2006. Morphology and biology of *Polydora* species (Polychaeta: Spionidae) boring into oyster shells in South America, with the description of a new species. *Zootaxa*. 1353: 1-37.
- Read, G. B. 2010. Comparison and history of *Polydora websteri* and *P. haswelli* (Polychaeta: Spionidae) as mud-blister worms in New Zealand shellfish. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 44(2): 83-100.
- Rioja, E. 1961. Estudios Anelidológicos 24. Adiciones a la fauna de anélidos poliquetos de las costas orientales de México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM*. 31: 289-316.
- Rouse, G. W., F. Pleijel. 2001. *Polychaetes*. Oxford University Press, 354 pp.
- SAGARPA-CONAPESCA. 2012. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Mazatlán. 385 p. Disponible en línea en: http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2012_zip

- Salazar Vallejo, S. I., N. E. González Vallejo, E. Schwindt. 2008. Taxonomía de invertebrados marinos: necesidades en Latinoamérica. *Interciencia*. 33 (7): 510-517.
- Salazar-Vallejo, S. I., E. Escobar-Briones, N. E. González, E. Suárez-Morales, F. Álvarez, J. A. de León-González, M. E. Hendrickx. 2007. Iniciativa mexicana en taxonomía: biota marina y costera. *Ciencia y Mar*. 11: 69-77.
- Salazar-Vallejo, S. I., L. F. Carrera-Parra, N. E. González-Vallejo, S. A. Salazar-González. 2014. *Biota portuaria y taxonomía*. Pp: 33-54. En: Low Pfeng, A., P. Quijón & E. Peters (Eds.). *Especies invasoras acuáticas de México: casos de estudio*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), University of Prince Edward Island (UPEI), México.
- Salgado-Barragán, J., N. Méndez, A. Toledano-Granados. 2004. *Ficopomatus miamiensis* (Polychaeta: Serpulidae) and *Styela canopus* (Ascidacea: Styelidae), non-native species in Urías estuary, SE Gulf of California, Mexico. *Cahiers de Biologie Marine*. 45: 167-173.
- San Martín, G. 2005. Exogoninae (Polychaeta: Syllidae) from Australia with the description of a new genus and twenty-two new species. *Records of the Australian Museum*. 57: 39-152.
- Sato-Okoshi, W., H. Abe, G. Noshitani, C. A. Simon. 2017. And then there was one: *Polydora uncinata* and *Polydora hoplura* (Annelida: Spionidae), the problematic polydorid pest species represent a single species. *Journal of the Marine Association of the United Kingdom*. 97(8): 1675-1684.
- Schwindt, E., A. Bortolus, O. O. Iribarne. 2001. Invasion of a reef-builder polychaetes: direct and indirect impacts on the native benthic community structure. *Biological Invasions*. 3: 137-149. doi: 10.1023/A:1014571916818
- Schwindt, E., O. O. Iribarne, F. I. Isla. 2004. Physical effects of an invading reef-building polychaete on an Argentinean estuarine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 59: 109-120.
- Streftaris, A., N. Zenetos. 2006. Alien marine species in the Mediterranean - the 100 'worst invasives' and their impacts. *Mediterranean Marine Science*. 7: 87-118. doi:10.12681/mms.180.
- Styan, C. A., C. F. McCluskey, Y. Sun, E. K. Kupriyanova. 2017. Cryptic sympatric species across the Australian range of the global estuarine invader *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) (Serpulidae, Annelida). *Aquatic Invasions*. 12 (1): 53-65.
- Suárez-Morales, E., S. Jiménez-Cueto, S. I. Salazar-Vallejo. 2005. Catálogo de los Poliquetos Pelágicos (Polychaeta) del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano. CONACYT, SEMARNAT & ECOSUR, México, 99 p.
- Sun, Y., E. Wong, H. A. ten Hove, P. A. Hutchings, J. Williamson, E. K. Kupriyanova. 2015. Revision of the genus *Hydroides* (Serpulidae, Annelida) from Australia. *Zootaxa*. 4009: 1-99. doi:10.11646/zootaxa.4009.1.1
- Tebble, N. 1953. A source of danger to harbour structures. Encrustation by a tubed marine worm. *Journal of the Institution of Municipal Engineers*. 80: 259-265
- ten Hove, H. A., J. C. A. Weerdenburg. 1978. A generic revision of the brackish-water serpulid *Ficopomatus* Southern 1921 (Polychaeta: Serpulinae), including *Mercieriella* Fauvel 1923 *Sphaeropomatus* Treadwell 1934, *Mercierellopsis* Rioja 1945 and *Neopomatus* Pillai 1960. *Biological Bulletin*. 154 (1): 96-120. doi: 10.2307/1540777
- Tovar-Hernández, M. A., L. F. Carrera-Parra, J. A. de León-González. Presence of two amphiamerican invasive species of *Ficopomatus* in Mexico (Polychaeta: Serpulidae). *Biological Invasions*. In prep.
- Tovar-Hernández, M. A., N. Méndez, J. Salgado-Barragán. 2009a. *Branchiomma bairdi*: a Caribbean hermaphrodite fan worm in the south-eastern Gulf of California (Polychaeta: Sabellidae). *Marine Biodiversity Records* 2: 1-8. http://doi.org/10.1017/S1755267209000463
- Tovar-Hernández, M. A., N. Méndez, T. F. Villalobos-Guerrero. 2009b. Fouling tubicolous polychaetes worms from the south-eastern Gulf of California:

Sabellidae and Serpulidae. *Systematics and Biodiversity*. 7(3): 1–18. <http://dx.doi.org/10.1017/S1477200009990041>

Tovar-Hernández, M. A., E. Suárez-Morales, B. Yáñez-Rivera. 2010. The parasitic copepod *Haplostomides hawaiiensis* (Cyclopoida) from the invasive ascidian *Polyclinum constellatum* in the southern Gulf of California. *Bulletin of Marine Science*. 86 (3): 637–648.

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera. 2012a. Capítulo XI: *Ficha técnica y análisis de riesgo de Terebrasabella heterouncinata Fitzhugh & Rouse, 1999 (Polychaeta: Sabellidae)*. Pp: 215–235. En: Low Pfeng, A. M. & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México.

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera. 2012b. Capítulo X: *Ficha técnica y análisis de riesgo de Ficopomatus miamiensis (Treadwell, 1934) (Polychaeta: Serpulidae)*. Pp: 193–212. En: Low Pfeng, A. M. & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México.

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera. 2012c. Capítulo IX: *Ficha técnica y análisis de riesgo de Branchiomma bairdi (McIntosh, 1885) (Polychaeta: Sabellidae)*. Pp: 167–190. En: Low Pfeng, A. M. & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México.

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera. 2012d. Capítulo I: *Actualización de las especies de invertebrados acuáticos exóticos en el Pacífico mexicano*. Pp: 1–6. En: Low Pfeng, A. M. & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México.

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera, T. F. Villalobos-Guerrero, J. M. Aguilar-Camacho, I. D. Ramírez-Santana. 2014a. *Detección de invertebrados exóticos en el Golfo de California*. Capítulo 16. Pp: 383–411. En: Low Pfeng, A., P. Quijón & E. Peters. (Eds.) *Especies invasoras acuáticas de México: casos de estudio*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), University of Prince Edward Island (UPEI), México.

Tovar-Hernández, M. A., Salazar-Silva, P., de León-González, J. A., Carrera-Parra, L. F. & Salazar-Vallejo, S. I. 2014b. Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85 suplemento190: 190–196. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/bio/article/view/32625>

Tovar-Hernández, M. A., B. Yáñez-Rivera, J. L. Bortolini-Rosales. 2011. Reproduction of the invasive fan worm *Branchiomma bairdi* (Polychaeta: Sabellidae). *Marine Biology Research*. 7 (7): 710–718. DOI:10.1080/17451000.2010.547201

Vidal-Briseño C. I., R. I. Hernández-Herrera, G. Galindo-Cortes, P. San Martín-del Ángel. 2015. Estructura poblacional de la captura del ostión *Crassostrea virginica* en las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco, Veracruz, México. *Hidrobiológica*. 25 (2): 265–273.

Villalobos-Guerrero, T. F., B. Yáñez-Rivera, M. A. Tovar-Hernández. 2012. Capítulo IV: *Polychaeta*. Pp: 45–66. En: Low Pfeng, A. M. & E. M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México.

Wargo, R. N., S. E. Ford. 1993. The effect of shell infestation by *Polydora* sp. and infection by *Haplosporidium nelsoni* (MSX) on the tissue condition of oysters, *Crassostrea virginica*. *Estuaries*. 16 (2): 229–234. <https://doi.org/10.2307/1352494>

Zibrowius, H, C. H. Thorp. 1989. A review of the alien serpulid and spirorbid polychaetes in the British Isles. *Cahiers de Biologie Marine*. 30: 271–285.