



El puerto de Mar del Plata, donde hace quince años se advirtió por primera vez en la costa atlántica de América del Sur, en caracoles de las especies *Buccinanops monilifer* y *Adelomelon brasiliana*, el fenómeno de impostación sexual, habitualmente llamado *imposex* en la literatura científica.

Gregorio Bigatti, Andrés Averbuj,
Mónica A Primost, Sebastián Giulianelli

Centro Nacional Patagónico, Conicet

Pablo E Penchaszadeh

Museo Argentino de Ciencias Naturales

Bernardino Rivadavia, Conicet

Contaminación costera y masculinización de caracoles marinos

Durante el año 2000, mientras llevaba a cabo estudios sobre aspectos reproductivos de una de las especies de caracoles marinos más frecuentes en la zona costera de Mar del Plata, el caracol tuberculado (*Buccinanops monilifer*), uno de los autores de este trabajo (entonces estudiante de la licenciatura en ciencias biológicas), encontró solo machos en un primer examen de una muestra de 43 ejemplares, a pesar de tratarse de una especie en la que están presentes machos y hembras. Si bien todos los especímenes tenían pene, un estudio más detallado reveló que también había hembras, pero

mostraban un avanzado desarrollo externo de caracteres sexuales masculinos: les había crecido un pene pero seguían siendo internamente hembras, con ovarios que continuaban funcionando normalmente.

Quedó así identificado por primera vez en la costa atlántica de América del Sur el fenómeno de impostación sexual, habitualmente llamado *imposex* en la literatura científica. El hallazgo fue dado a conocer en 2001 en la revista indicada entre las lecturas sugeridas. Desde entonces, se constató la anomalía en más de diez especies de caracoles marinos en todos los puertos de la costa argentina o sus cercanías.

¿DE QUÉ SE TRATA?

El uso de ciertas pinturas antiincrustantes en embarcaciones tiene consecuencias negativas para los caracoles marinos, para otros organismos e incluso para los seres humanos. Por su gran sensibilidad a esos productos, dichos caracoles constituyen buenos indicadores de contaminación.

Especies de caracoles marinos de la costa atlántica argentina encontrados con *imposex* en los últimos quince años y sitios donde se los encontró.

Especie	Nombre vulgar	Sitios
<i>Adelomelon ancilla</i>	Caracol violeta	Puerto Madryn, Camarones, Ushuaia
<i>Adelomelon beckii</i>	Caracol gigante	Proximidades del puerto de Mar del Plata
<i>Adelomelon brasiliana</i>	Caracol negro	Proximidades del puerto de Mar del Plata
<i>Adelomelon ferussacii</i>	Voluta austral	Puerto Santa Cruz
<i>Buccinanops cochlidium</i>	Caracol escalonado	Puerto de Mar del Plata
<i>Buccinanops globulosus</i>	Caracol globoso	San Antonio Este y Oeste, Puerto Madryn, Puerto de Rawson, Caleta Córdova
<i>Buccinanops monilifer</i>	Caracol tuberculado	Puerto de Mar del Plata
<i>Odontocymbiola magellanica</i>	Caracol rojo	Puerto Madryn, Camarones, Ushuaia
<i>Olivancillaria deshayesiana</i>	Oliva globosa	Puerto de Mar del Plata
<i>Paraeuthria plumbea</i>	Caracol turbinado	Camarones, Caleta Córdova, Puerto Deseado, Puerto San Julián, Puerto Santa Cruz, Ushuaia
<i>Prunum martini</i>	Caracol porcelana	San Antonio Este y Oeste
<i>Trophon geversianus</i>	Trofon	Puerto Madryn, Puerto Deseado, Ushuaia
<i>Xymenopsis muriciformis</i>	Caracol blanco	Ushuaia



Principales puertos de la costa atlántica argentina donde se han encontrado diversas especies de caracoles con variable intensidad de *imposex*.

El problema

Para prevenir la adhesión de organismos al casco de las embarcaciones y a estructuras sumergidas, desde hace décadas se utilizan pinturas antiincrustantes que contienen compuestos sintéticos tóxicos, el más efectivo de los cuales es el tributilo estaño (o TBT, por Tributyltin en inglés). Afecta a animales y algas incrustantes, a los que está dirigido, pero también a otros habitantes del mar. En zonas portuarias su acción resulta particularmente evidente, ya que el TBT alcanza altas concentraciones en aguas y sedimentos del fondo debido al elevado tráfico de embarcaciones.

El TBT no existe en forma natural: es un compuesto creado y producido por la investigación y la industria química. Su gran eficacia y relativo bajo costo han favorecido su utilización masiva, no solo como componente de pinturas, sino también para preservar maderas y en la industria de los plásticos. Presenta además dos características que aumentan su poder tóxico: se degrada en forma lenta en el ambiente y tiene afinidad con los tejidos animales, en especial aquellos que contienen grasas. En menos de cinco años desde que comenzó a producirse y utilizarse masivamente en la década de 1970 se advirtieron sus efectos en invertebrados marinos, el primero de los cuales fue la deformación de las valvas de una ostra comestible que se registró en el suroeste de Francia, en la bahía de Arachon.

La segunda repercusión del TBT, ya estudiada en todo el mundo en hembras de caracoles marinos, fue el *imposex*. En

las hembras afectadas por esa anomalía se desarrolla un pene y a veces también un conducto que en los machos conduce los espermatozoides desde el testículo hasta el pene, llamado *vaso deferente*. Tal formación de caracteres sexuales masculinos no implica un cambio de sexo, pues las hembras continúan generando gametas viables en sus ovarios. Como regla general, el fenómeno aparece en zonas portuarias con alto tráfico marítimo y, si bien existe consenso en atribuirlo a la presencia de TBT, otros compuestos menos contaminantes también pueden generar efectos negativos en los caracoles.

Como consecuencia, algunos países como Francia, Japón y Australia prohibieron tempranamente el uso de TBT, y en 2008, después de años de debate y acumulación de evidencia, la Organización Marítima Internacional (OMI) recomendó su prohibición en todos los países

en embarcaciones de gran porte. La Argentina reguló su uso en 1998 y lo excluyó de pequeñas embarcaciones, aunque no ha puesto en vigencia la prohibición mundial pedida por la OMI. A pesar de dicha prohibición, el TBT se sigue produciendo en países desarrollados y vendiendo en otros donde los controles son escasos. En adición, resulta muy difícil fiscalizar su uso en pinturas de embarcaciones de gran calado que circulan por todo el mundo.

Se ha detectado TBT en organismos de diferentes especies, desde algas e invertebrados hasta vertebrados, incluso seres humanos. Sus efectos abarcan deformaciones en las valvas de moluscos, el mencionado *imposex*, cambios celulares y mortandad aguda en invertebrados, problemas respiratorios y alteraciones fisiológicas en vertebrados, y obesidad en ratones. En humanos se asocia con irritación de la piel, afecciones al sistema nervioso y alteraciones in-



Izquierda, arriba: caracol violeta (*Adelomelon ancilla*) en la costa cercana a Puerto Madryn, con dos anémonas sobre la concha. Foto Soledad Zabala

Izquierda, abajo: caracol rojo (*Odontocymbiola magellanica*), una especie muy común en las costas patagónicas.

Derecha: concha de caracol gigante (*Adelomelon beckii*), el caracol marino de mayor tamaño de la Argentina (puede alcanzar los 50cm de longitud).





Arriba: oliva globosa (*Olivancillaria deshayesiana*), común en las costas de Mar del Plata.

Abajo: caracol negro (*Adelomelon brasiliana*), muy abundante en la costa bonaerense, que pone huevos gigantes a menudo vistos en playas arenosas.

munológicas. Por otro lado, hay que tener en cuenta que en las zonas portuarias existe también contaminación por otros compuestos, como hidrocarburos y metales, que podrían igualmente ser responsables de alteraciones fisiológicas o morfológicas en los seres vivos.

Algunas de las especies de caracoles estudiadas en la Argentina son consumidas por los habitantes de zonas costeras e identificadas como un recurso pesquero alternativo en las costas patagónicas. Sin embargo, no existen hasta el momento reglamentaciones de manejo de pesquerías de caracoles marinos, ni de su seguridad sanitaria como alimento.

Mecanismo de acción del TBT

Se han planteado varias hipótesis para explicar cómo se produce el imposex en presencia de TBT. La primera es un aumento de los niveles de hormonas asociadas con el desarrollo de caracteres sexuales masculinos como resultado de la inhibición en la actividad de una enzima llamada aromatasa en las hembras expuestas al contaminante. La aromatasa es una enzima clave en la síntesis de hormonas femeninas. Otra explicación es que el crecimiento de un pene se debería al incremento en la producción y liberación de una molécula denominada APGWamida en presencia de TBT, que se supone fundamental en el desarrollo de los caracteres sexuales masculinos.

Una tercera hipótesis implica la acción de un receptor celular llamado retinoides X (RXR). El TBT tiene la capacidad de competir con la hormona endógena que se une naturalmente a ese receptor y de unirse también a él, cosa que le permitiría ingresar al núcleo celular, inducir o reprimir la expresión de ciertos genes clave y llevar a un aumento en la proliferación de células capaces de formar el pene en las hembras. Aunque estos mecanismos aún se encuentran en estudio, según los trabajos científicos publicados esta última hipótesis parece la más probable y es la que se está estudiando actualmente en el Centro Nacional Patagónico en Puerto Madryn.

Conocer el mecanismo de acción de estos compuestos es crucial para evaluar sus consecuencias sobre el ambiente y la salud humana. Se considera que el TBT es un *perturbador endocrino*, nombre que se da a sustancias naturales o industriales que, liberadas al ambiente, interactúan con los receptores hormonales de un organismo y alteran el funcionamiento de su sistema endocrino. El efecto de los perturbadores endocrinos varía según la especie, la edad y el tipo de vida de los organismos. Ciertos contaminantes presentes en zonas costeras son mayormente solubles en grasas, lo cual les otorga gran persistencia en los ecosistemas y la capacidad de difundirse por las cadenas alimentarias e irse



Caracol globoso (*Buccinops globulosus*), especie muy propensa a desarrollar imposex y muy común en la zona intermareal de las costas de la Patagonia, donde es capturado por pescadores artesanales para ser consumido.

acumulando, fenómeno denominado *bioacumulación*. Por ello, aun en bajas concentraciones en el ambiente, los contaminantes pueden producir efectos adversos para humanos y otros organismos situados el tope de la cadena alimentaria.

Conclusiones

Los organismos afectados por la presencia de contaminantes sirven como indicadores de la salud ambiental; se los denomina *bioindicadores* y constituyen una herramienta de gran valor para evaluar los problemas de contaminación. Los moluscos están entre los bioindicadores más utilizados para ese propósito. Así, el *imposex* en caracoles marinos constituye un buen indicador de la presencia de TBT en el ambiente, incluso en concentraciones bajas, entre otras razones porque muchas especies son muy sensibles debido a su reducida capacidad de metabolizar eficazmente el compuesto tóxico.

Las investigaciones recientes apuntan a la búsqueda de pinturas con sustancias antiincrustantes distintas del TBT, por ejemplo, capsaicina, irgarol, trifetil boro piridina, diuron y otras, pero estudios preliminares demostraron que algunas son igualmente tóxicas

LOS CARACOLES DE LAS COSTAS ARGENTINAS

Los caracoles (o gasterópodos) son moluscos comestibles, igual que los calamares, los pulpos y las almejas. En la Argentina los calamares constituyen el tercer recurso pesquero más explotado, después de la merluza y el langostino; en cambio, son escasas las capturas declaradas de caracoles y así ha sido desde la década de 1950. En otros países, en cambio, el caracol marino es un recurso importante, y representa aproximadamente el 2% de la pesca mundial de moluscos. Su consumo local se da mayormente en las provincias patagónicas y en comunidades asiáticas de Buenos Aires.


La Argentina tiene una gran diversidad de caracoles, con muchas especies distribuidas en todos los ambientes marinos, aunque las consumidas o capturadas con fines comerciales son alrededor de diez, que se destacan por su tamaño y palatabilidad. Los caracoles marinos constituyen un recurso pesquero que podría ser complementario en pesquerías artesanales (como la de vieira) pero, debido a que son animales muy frágiles, es conveniente reglamentar su captura y monitorear su calidad sanitaria.



Caracol escalonado (*Buccinanops cochlidium*), que tiene alta fecundidad en la Patagonia, además de gran potencial pesquero.

para los invertebrados marinos. También se explora recurrir a compuestos naturales que evitan las incrustaciones, propios de ciertas algas, esponjas y bacterias.

El monitoreo del TBT y otros contaminantes en las zonas portuarias es necesario para evaluar el estado sa-

nitario de los caracoles, controlar si es efectiva la prohibición de dicho contaminante y conocer su grado de bioacumulación en las cadenas alimentarias marinas, en especial en las especies capturadas en muelles y puertos con fines alimentarios. 

LECTURAS SUGERIDAS

BIGATTI G et al., 2009, 'Contamination by TBT and imposex biomonitoring along 4700km of Argentinean shoreline', *Marine Pollution Bulletin*, 58: 695-701.

—, 2014, 'Situación de la contaminación en las costas del sur de Brasil, Uruguay y la Argentina luego de la prohibición mundial de TBT', en Goso C

(ed.), *Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros*, DIRAC, Montevideo.

PENCHASZADEH PE, AVERBUJ A & CLEDÓN M, 2001, 'Imposex in gastropods from Argentina', *Marine Pollution Bulletin*, 42: 790-791.



Gregorio Bigatti

Doctor en biología, UBA.
Investigador independiente del Conicet en el Centro Nacional Patagónico.
Profesor adjunto, UNPSJB.
gbigatti@cenpat-conicet.gob.ar



Andrés Averbuj

Doctor en biología, UBA.
Investigador asistente del Conicet en el Centro Nacional Patagónico.



Mónica A Primost

Doctora en biología, UNLP.
Becaria posdoctoral del Conicet en el Centro Nacional Patagónico.
primost@cenpat-conicet.gob.ar



Sebastián Giulianelli

Doctor en biología, UBA.
Investigador asistente del Conicet en el Centro Nacional Patagónico.
giulianelli@cenpat-conicet.gob.ar



Pablo E Penchaszadeh

Doctor en biología, UBA.
Investigador superior del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales.