

CENTINELAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ANTÁRTICA MARÍTIMA

Parochlus steinenii, la mosquita alada

① Las únicas dos especies de insectos nativos de la Antártica:
A) *Belgica antarctica* y
B) *Parochlus steinenii*.



FOTOGRAFÍAS POR GONZALO ARIAGADA

El aumento de la temperatura en la Antártica marítima y la península Antártica dejará al descubierto grandes áreas libres de hielo. Estos cambios podrían afectar significativamente a los ecosistemas terrestres y a sus habitantes, especialmente a *Parochlus steinenii*, la única especie de insecto que habita lagos y ríos de la Antártica marítima. Integramos ecofisiología, historia de vida y desarrollo de capas climáticas de alta resolución para estudiar cómo las poblaciones de *P. steinenii* podrían responder al cambio climático bajo diferentes escenarios de cambio climático. Descubrimos que las poblaciones antárticas de *P. steinenii* tienen un ciclo de vida que dura tres años y que la mayor parte de su vida se da en el ambiente acuático, en estado larval. Además, sus límites térmicos son de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el estadio larvario, $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el estadio de pupa y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el adulto, lo que nos indica que la especie tiene una amplia tolerancia térmica, pero que no es tolerante al congelamiento. Por otro lado, los modelos de nicho ecológico que desarrollamos provenientes del modelo climático GDLF-ESM2M, nos indican que *P. steinenii* podría expandir su distribución a zonas de la costa oeste y este de la península Antártica e incluso áreas costeras libres de hielo en la Antártica continental, lugares donde actualmente no se ha registrado su presencia. La información obtenida nos lleva a proponer a *P. steinenii* como una especie centinela e indicadora del cambio climático en la Antártica.

La Antártica y las islas subantárticas son algunas de las últimas áreas prístinas del planeta, ya que se han mantenido libres de impactos de origen humano como la sobrepoblación y la sobreexplotación de ecosistemas nativos.

Sin embargo, no se mantienen libres de otros procesos globales, como la introducción de especies exóticas y el cambio climático. Por ejemplo, la temperatura promedio del aire y del océano ha aumentado significativamente en los últimos años, provocando descongelamiento de hielos y disminución en la cobertura de nieve.

De acuerdo con los últimos seis reportes que ha emitido el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), estos cambios están relacionados con el aumento de las emisiones de gases invernadero a la atmósfera derivadas de las actividades humanas en el resto del planeta.

Según la evidencia científica, el retiro de glaciares y la reducción del hielo en los ecosistemas terrestres y dulceacuícolas aumentará en la península Antártica y en las islas de la Antártica marítima, ya que esta zona y la costa occidental del continente antártico han sido reportados como “puntos calientes”, los que destacan por su aumento de temperatura a una tasa mayor que el resto de la Antártica. Se estima un aumento de las áreas libres de hielo de aproximadamente 17.000 km^2 en todo



Melisa Gañan

Lab. Wankara de Estudios
Dulceacuícolas, Prog.
de Conservación
Biocultural
Subantártica, U. de
Magallanes.

Núcleo Milenio de
Salmónidos Invasores,
INVASAL

melysa_gm
@yahoo.es



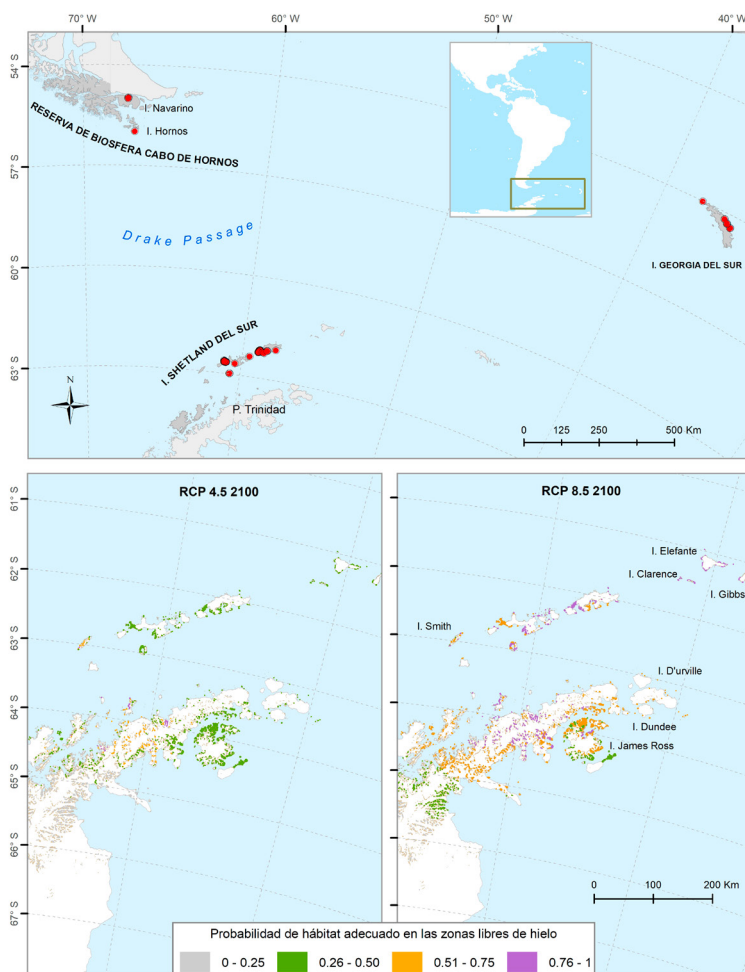
**Tamara
Contador Mejías**

Lab. Wankara de Estudios
Dulceacuícolas, Prog.
de Conservación
Biocultural
Subantártica, U. de
Magallanes.

Núcleo Milenio de
Salmónidos Invasores,
INVASAL

Instituto de Ecología y
Biodiversidad, IEB

tamara.contador
@umag.cl



el continente, siendo el mayor aumento de estas áreas en la península Antártica y la Antártica marítima.

Las consecuencias negativas de estos cambios en los ecosistemas de agua dulce y la biota de la Antártica marítima podrían ser significativas. Estos ecosistemas son generalmente pequeños y aislados, poblados por invertebrados, líquenes y microorganismos que no se encuentran en ningún otro lugar del mundo. Concretamente, la fauna de insectos asociada a estos ecosistemas se compone únicamente de dos especies nativas: los dípteros quironómidos *Belgica antarctica* y *Parochlus steinenii* (1).

Insectos y cambio climático

Los insectos son animales ectotérmicos y, por lo tanto, son muy sensibles a los cambios térmicos de su entorno. La temperatura afecta prácticamente todos los aspectos de su metabolismo, influyendo en sus tasas de crecimiento y capacidad para sobrevivir.

El cambio climático ha influido significativamente en el ciclo de vida (fenología), distribución y adaptaciones fisiológicas de múltiples especies en distintas

partes del planeta, siendo aquellas distribuidas en ecosistemas subpolares y polares las más afectadas.

En este contexto, nos preguntamos: ¿Cómo podría el cambio climático afectar la distribución y fenología de *Parochlus steinenii* en la Antártica marítima?

Para responder esta pregunta nos enfocamos en estudiar tres aspectos generales de este pequeño habitante antártico: 1) distribución, 2) ciclo de vida y 3) ecofisiología.

Con esta información desarrollamos Modelos de Nicho Ecológico (ENM) bajo diferentes escenarios de cambio climático, para predecir los posibles cambios en la distribución de *P. steinenii* durante los próximos 100 años.

Para llevar a cabo este estudio, participamos en las Expediciones Científicas Antárticas (ECA) durante seis años consecutivos (desde el 2014 hasta el 2019), a través de los proyectos Fondecyt de Iniciación 11130451 e INACH RT_4816.

El trabajo en terreno se centró en las islas Shetland del Sur y en la península Antártica, para lo cual navegamos a bordo del buque Aquiles, de la Armada

de Chile. Asimismo, gracias al apoyo del British Antarctic Survey (BAS) y el Programa de Conservación Biocultural Subantártica de la Universidad de Magallanes realizamos expediciones de terreno en las islas Georgias del Sur y en la Reserva de Biosfera Cabo de Hornos, respectivamente.

Recorrimos todos los sitios libres de hielo posibles, registrando la presencia o ausencia de larvas, pupas o adultos de *P. steinenii* en ríos, lagunas y lagos accesibles y caracterizamos la morfología y condiciones fisicoquímicas de sus hábitats.

Complementamos la información obtenida en terreno con una revisión exhaustiva de bibliografía y creamos una base de datos espacial en la que registramos 78 ocurrencias de *P. steinenii* en la región Antártica marítima y subantártica (2).

La base de datos completa está accesible en el formato de archivo Darwin Core en la plataforma internacional sobre biodiversidad GBIF (Global Biodiversity Information Facility) en el siguiente link <https://www.gbif.org/dataset/30c49fbf-4e2e-482e-bb49-4d294bc332cb>.

Ciclo de vida de *Parochlus steinenii*

Parochlus steinenii presenta un ciclo de vida holometábolo (metamorfosis completa) compuesto por tres etapas: larva, pupa y adulto. Las larvas y las pupas son acuáticas y habitan en lagos permanentes, mientras que los adultos alados son terrestres y se encuentran agregados en el borde de los lagos, donde se reproducen durante el verano austral (3).

Las poblaciones antárticas de *P. steinenii* muestran una distribución agregada y están restringidas a lagos permanentes y profundos en áreas libres de hielo. Estudiamos la fenología y ciclo de vida de la mosquita antártica en el lago Kitiesh (península Fildes, isla Rey Jorge) durante los años 2014-2017.

Para hacerlo, transportamos individuos adultos vivos a nuestro laboratorio en la isla Navarino. Las hembras adultas pusieron huevos, los cuales criamos en una cámara de crecimiento con temperatura y fotoperíodo controlados (4-8 °C). Registramos la temperatura de la cámara desde el primer día de experimento hasta la eclosión de los adultos. Con esta información, calculamos los Grados-Día de Desarrollo (GDD) o unidades térmicas necesarias para completar un ciclo desde huevo-adulto. Obtuvimos los GDD para cada período

(2) Mapa de distribución actual de *Parochlus steinenii* en el sur de Sudamérica y la Antártica Marítima (figura superior). Los círculos rojos indican puntos de distribución registrados en nuestro estudio. Las dos figuras inferiores muestran los modelos de nicho ecológico (ENM) que predicen los cambios de distribución de *P. steinenii* bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para el año 2100. Los colores gris, verde, naranja y morado indican la probabilidad de que se generen hábitats adecuados para el asentamiento de poblaciones de *P. steinenii* en las zonas libres de hielo.

de desarrollo y los comparamos con GDD obtenidos de la temperatura del agua registrada a partir de medidores de temperatura (Hobo U22) instalados en el lago Kitiash desde el año 2014.

Con esta información pudimos determinar que las poblaciones de *P. steinenii* requieren aproximadamente 1.200 GDD para completar una generación. Como se ve en la figura 3, los grados-días se acumulan principalmente durante el verano austral (diciembre-mayo) y, por lo tanto, la mayor parte de la actividad (es decir crecimiento larval, pupación, eclosión de adultos) ocurre durante esta época del año.

Durante el invierno, las larvas se mantienen en un estado de latencia en las zonas más profundas de los lagos y creemos que su crecimiento es mínimo durante este período de tiempo. Por otro lado, se acumulan aproximadamente 400 GDD durante cada año en el lago Kitiash y, por lo tanto, podemos deducir que el ciclo de la mosca antártica es merovoltino (una generación de adultos cada tres años).

Finalmente, durante el verano austral encontramos todos los estadios de desarrollo (larvas, pupas, adultos), por lo que podemos concluir que durante este periodo existen múltiples generaciones solapadas entre sí (4).

***P. steinenii* una especie centinela e indicadora de cambio climático**

Los modelos de nicho ecológico (ENM) son fórmulas matemáticas que recogen los diferentes tipos de nicho ecológico que han sido desarrollados para explicar la distribución de especies en el tiempo y espacio.

Estos modelos relacionan información fisiológica, de distribución o de historia de vida, con variables predictoras ambientales. Los ENM se utilizan ampliamente para entender mejor los efectos del cambio climático en la biota, ayudándonos a identificar posibles especies centinelas o indicadoras del cambio ambiental.

Para entender cómo el cambio climático podría afectar la distribución de *Parochlus steinenii* es necesario contar con datos climáticos del microhábitat de la especie. Sin embargo, esto es muy difícil en ambientes tan extremos como la Antártica, ya que los datos disponibles se encuentran a una resolución de aproximadamente 25 km.

Por este motivo, realizamos un procedimiento estadístico conocido como

downscaling, lo que nos permite aumentar la resolución espacial de 25 km a 1 km. Esta nueva resolución espacial nos permitió desarrollar modelos más robustos y cercanos a la realidad de la mosca antártica.

El mejor modelo fue el proveniente del modelo climático GDLF-ESM2M, que predijo que *P. steinenii* tiene el potencial de expandir su distribución a lo largo de la península Antártica e incluso podría llegar a áreas costeras libres de hielo en la Antártica continental (fig. 2).

Cuando proyectamos este modelo bajo dos de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero RCP (Representative Concentration Pathways) propuestos por el IPCC, se predijo que para el escenario medio (RCP 4.5) tanto para el año 2050 como para el año 2100 existen altas probabilidades de que el área de hábitat adecuado para *P. steinenii* se expanda dentro de las islas Shetland del Sur y hacia el norte de la península Antártica, concretamente en

la Biorregión Antártica de Conservación número 3.

Sin embargo, el modelo también muestra una reducción en la probabilidad de idoneidad de hábitat en la isla Livingston (bahía Byers), donde actualmente es altamente abundante.

Bajo el otro escenario, el más catastrófico (RCP 8.5), para el año 2100 se estima una reducción en la idoneidad de hábitat en su distribución actual y una persistencia mayor de esta especie dentro de las Shetland del Sur, expandiéndose hacia las islas Smith, Clarence, Elefante y Gibbs, y parte de la península Antártica.

Los hábitats más adecuados aparecen en D'Urville, Dundee y las islas Bransfield, así como a lo largo de la costa de la península de la Trinidad e isla James Ross.

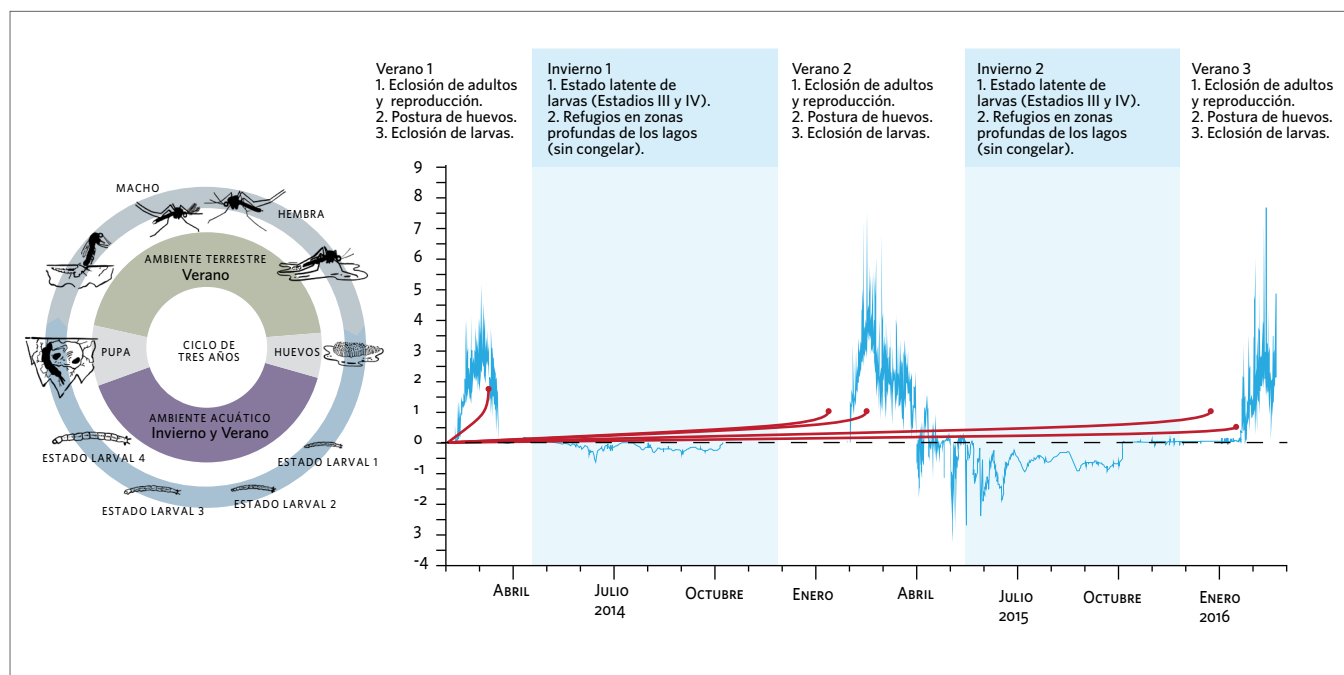
Si evaluamos esto desde el punto de vista de la superficie, los modelos nos indicaron que el área total de hábitat adecuado potencial para *P. steinenii*,

③ Hábitat de *Parochlus steinenii* en la Antártica Marítima (A) y grupo de adultos refugiándose a las orillas del lago Kitiash, isla Rey Jorge (B).



TAMARA CONTADOR M

TAMARA CONTADOR M



aumentará en un 4 % y un 5 % respectivamente para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el año 2100.

Perspectivas y desafíos

La amenaza cada vez más probable de una crisis climática mundial nos desafía urgentemente a que entendamos el funcionamiento de los sistemas biológicos, a que podamos evaluar las tendencias cambiantes y estimar, en diferentes escenarios, los posibles impactos del cambio ambiental global, para de este modo apoyar a la toma de decisiones y de acuerdos globales.

El hecho de que este díptero antártico pueda ser considerado una especie centinela e indicadora de cambio climático en el continente antártico nos ayuda a estar atentos ante posibles cambios que puedan producirse en un futuro no tan lejano.

Pero ¿cómo podría *P. steinenii* colonizar nuevos hábitats en la península Antártica y en otras partes del continente, especialmente teniendo en cuenta que la evidencia paleolimnológica sugiere que la especie no ha ocurrido previamente en estas áreas?

La dispersión es un rasgo importante de la historia de vida y es particularmente importante en ambientes cambiantes y extremos. Creemos que la dispersión a través de la Antártica podría verse facilitada por acciones naturales o inducidas por las personas.

La mosquita antártica alada tiene una distribución irregular y fragmentada y, aunque es un insecto volador, su dispersión a través de regiones

más grandes puede estar limitada por factores abióticos como los fuertes vientos y las bajas temperaturas de la Antártica.

En este contexto, la dispersión natural en las islas Shetland del Sur a otras regiones puede ser limitada, a menos que sea facilitada por otros vectores, como las aves (por ejemplo, las skuas) o el transporte humano.

La actividad humana en la Antártica tiene un potencial sustancial para el transporte de especies de una región biogeográfica a otra. Si el movimiento se produce, por cualquier medio, ¿podrá *P. steinenii* persistir en estas nuevas regiones?

Nuestros datos sobre la fisiología térmica y las preferencias de hábitat de la especie, junto con el alto rendimiento reproductivo de la especie, y la falta de especies nativas potencialmente competidoras o depredadoras en las nuevas regiones, sugieren que esta especie podría colonizar rápidamente los hábitats que están disponibles.

En nuestro estudio encontramos que *P. steinenii* es intolerante a la congelación y actualmente vive cerca de su límite de temperatura más frío, pero que tiene un amplio rango de tolerancia térmica en todas sus etapas de vida.

Por otro lado, el reciente aumento de las temperaturas del aire en la Antártica marítima, especialmente durante el invierno, combinado con el aumento de las precipitaciones, posiblemente alterará la duración y el espesor de la cubierta de hielo en los lagos de agua dulce, así como la varia-

bilidad del nivel del agua.

Si las predicciones generadas por los modelos climáticos recientes son correctas, los ecosistemas de agua dulce de la península Antártica pueden verse duramente afectados, impactando así la persistencia de *P. steinenii* en su distribución actual.

En este contexto, *P. steinenii* podría considerarse como un centinela del cambio climático en los ecosistemas terrestres y acuáticos antárticos, ya que las fluctuaciones térmicas de su hábitat pueden afectar significativamente su distribución y fenología, lo que lleva a importantes cambios en los ecosistemas en las regiones antárticas en las que se encuentra.*

Agradecimientos

Agradecemos a todas y todos los investigadores que han participado de esta investigación: Peter Convey, James Kennedy, Carolina Pérez Troncoso, Javier Rendoll Cárcamo, Felipe Simoes, Simón Castillo, Ricardo Rozzi, Luis Morales, Gustavo Bizama, Gill Graham, Claudia Maturana, Guillermo Fuentes-Jaque.

Agradecemos al INACH proyecto RT_48_16, a la Universidad de Magallanes, al Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB-Chile) y al British Antarctic Survey (BAS).

④ Ciclo de vida de *Parochlus steinenii* en el lago Kitesh, isla Rey Jorge. La figura A muestra un diagrama del ciclo de vida de *Parochlus steinenii*. La figura B muestra la temperatura del agua registrada desde el año 2014-2016 en el lago Kitesh. Durante cada verano se puede observar la eclosión de adultos, la reproducción y la postura de huevos. Los adultos se reproducen en las orillas de los lagos y ríos, para luego poner los huevos sobre la superficie del agua. Además, durante este tiempo es posible observar pupas, larvas acuáticas recién eclosionadas y de estadios larvales avanzados. Durante el invierno, los lagos se congelan y las larvas permanecen en estado de latencia en las zonas profundas, sin congelar. Las líneas rojas indican el término de una generación, culminando en la eclosión de adultos.