

Microplásticos y aumento de temperaturas alteran las respuestas celulares de peces antárticos y subantárticos

Estudio encabezado por investigadoras del Instituto Milenio BASE, pertenecientes a la Universidad de Chile y la Universidad Austral, analizó cómo la combinación de microplásticos y aumento de temperaturas impacta la actividad celular y el microbioma de peces que habitan el extremo austral y la Antártica. La investigación, publicada en *Environmental Pollution*, detectó cambios en genes relacionados con la protección celular, la degradación de proteínas y la muerte celular después de solo 24 horas de exposición experimental. El equipo advierte además que, a largo plazo, estos efectos podrían representar un costo que afecte a las poblaciones de las especies estudiadas.

El estudio analizó cómo el aumento de la temperatura y la ingesta de microplásticos inciden en la actividad celular y el microbioma de peces antárticos y subantárticos.

Sobre los resultados de esta investigación, Julieta Orlando, académica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, explica que “en el riñón anterior, el bazo y el intestino vimos cambios en genes asociados a la protección celular, la respuesta inmune, la degradación de proteínas y la apoptosis”.

“Un pez que destina toda su energía a defenderse de contaminantes y al aumento térmico, come mal, crece menos y deja de reproducirse al mismo ritmo”, advierte sobre los posibles efectos de largo plazo Daniela Nualart, investigadora de la Universidad Austral.

La investigación expuso a estos factores a dos especies de peces cercanamente emparentadas: *Harpagifer antarcticus*, endémica de la Antártica, y *Harpagifer bispinis*, distribuida en ambientes subantárticos y patagónicos.

En los prístinos paisajes de la Antártica y el extremo austral, la fauna desarrolla su ciclo de vida en ecosistemas que están siendo presionados por dos transformaciones de origen humano y de alcance global: el calentamiento global y la creciente contaminación por elementos como los microplásticos.

Ambas investigadoras señalan que si la respuesta observada en estas especies afectara a muchos individuos durante periodos prolongados, eventualmente podría repercutir en la abundancia de sus poblaciones.

“Esta investigación nos ofrece una suerte de ‘termómetro molecular’ que permite identificar señales de alerta temprana en la fauna antártica mucho antes de que veamos mortandades masivas en el ecosistema”, destaca Daniela Nualart.

Bajo las aguas que rodean la península Antártica y el extremo sur de Chile viven peces cuya fisiología ha evolucionado durante millones de años en ambientes fríos, prístinos y relativamente estables. Entre las rocas de la zona intermareal de la bahía Fildes, en la isla Rey Jorge, y en las cercanías del Fuerte Bulnes, al sur de Punta Arenas, muchas especies animales viven a bajas temperaturas. En la Antártica, en particular, incluso pueden permanecer bajo los 0°C durante algunas épocas del año. Allí, en estos remotos parajes, la fauna desarrolla su ciclo de vida en ecosistemas que están siendo presionados por dos transformaciones de origen humano y de alcance global: el **calentamiento global y la creciente contaminación por elementos como los microplásticos**.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, entre 1970 y 2017, el océano Austral absorbió entre

el 35% y el 43% del aumento de la temperatura registrado en los primeros 2.000 metros de todos los océanos del planeta. Por otra parte, cada vez es más frecuente encontrar fibras, fragmentos y otras partículas plásticas en aguas, sedimentos y en el interior de organismos que habitan estos lugares remotos. Ambas amenazas pueden tener distintos efectos sobre la fauna. El aumento de la temperatura modifica el metabolismo de los peces y eleva sus necesidades energéticas, mientras que las partículas ingeridas pueden interactuar con el sistema digestivo y activar respuestas inflamatorias, oxidativas o inmunitarias. Sin embargo, todavía existe poca **evidencia sobre lo que ocurre cuando estos factores actúan simultáneamente sobre especies adaptadas al frío y al frágil equilibrio de estos ecosistemas.**

Este fue el foco de un estudio liderado por investigadores de la Universidad de Chile y la Universidad Austral pertenecientes al Instituto Milenio Biodiversidad de Ecosistemas Antárticos y Subantárticos (BASE), que analizó **cómo el aumento de la temperatura y la ingesta de microplásticos inciden en la actividad celular y el microbioma de peces antárticos y subantárticos.** El trabajo, publicado en la revista científica **Environmental Pollution**, expuso experimentalmente, bajo estas condiciones, a veinte ejemplares de *Harpagifer antarcticus*, especie endémica de la Antártica, y veinte de *Harpagifer bispinis*, especie distribuida en ambientes subantárticos y patagónicos. Ambas especies, cercanamente emparentadas, fueron distribuidas en cuatro grupos: el primero permaneció en condiciones de control; el segundo fue expuesto a microplásticos de PVC; el tercero enfrentó un aumento de temperatura; y el cuarto recibió ambos tratamientos.

Impacto a nivel celular

El experimento permitió identificar que, después de 24 horas, el aumento de temperaturas y la presencia de microplásticos en el organismo de los ejemplares estudiados generaron

alteraciones en la actividad de genes relacionados con la protección celular, la degradación de proteínas y la muerte celular. La **Dra. Daniela Nualart**, investigadora de la Universidad Austral que desarrolló este trabajo como parte de su tesis doctoral, explica que **la exposición simultánea a estos dos factores colapsa las defensas celulares de los peces**. “La maquinaria que normalmente repara las proteínas dañadas queda completamente sobrepasada, evidenciando un costo metabólico muy alto, ya que la energía requerida para responder a dos presiones simultáneas agota las reservas fisiológicas del pez, dejándolo en un estado de vulnerabilidad funcional frente a nuevos desafíos ambientales”, afirma.

La **Dra. Julieta Orlando**, académica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile y una de las coautoras del estudio, agrega que “uno de los resultados más interesantes es que no observamos una respuesta única al aumento de la temperatura y a los microplásticos. Esta dependió tanto de la especie como del tejido analizado. **En el riñón anterior, el bazo y el intestino vimos cambios en genes asociados a la protección celular, la respuesta inmune, la degradación de proteínas y la apoptosis**, que es el proceso mediante el cual el organismo elimina células dañadas o innecesarias sin causar inflamación. La combinación de ambos estresores provocó respuestas celulares significativas, pero *H. antarcticus* y *H. bispinis* mostraron patrones distintos”.

En definitiva, los resultados indican que **ambas especies exhiben diferentes capacidades para enfrentar el calentamiento y los contaminantes plásticos**, y que la respuesta observada depende de su historia térmica, su fisiología y el tejido examinado. En el intestino de *H. bispinis*, por ejemplo, cuando la temperatura y los microplásticos actuaron por separado aumentó la actividad de algunos genes protectores. Bajo la exposición combinada, en cambio, estos marcadores disminuyeron, mientras los relacionados con la degradación de proteínas y la muerte celular permanecieron elevados. De esta

forma, Orlando destaca cómo “dos especies muy cercanas evolutivamente pueden enfrentar de manera distinta los mismos cambios ambientales”.

El estudio también analizó el microbioma intestinal. En este ámbito, si bien los indicadores de diversidad y composición bacteriana no mostraron diferencias significativas después de 24 horas de exposición, el análisis detectó señales importantes de alteración. “Observamos cambios en algunos grupos bacterianos y una mayor variabilidad entre individuos, especialmente en *H. bispinis*. Es decir, el microbioma no necesariamente cambia de golpe. Una de las primeras señales de estrés puede ser que se vuelva menos predecible y que cada individuo comience a responder de manera diferente. Esto es relevante porque estos microorganismos participan en funciones relacionadas con la nutrición, el metabolismo y la inmunidad del pez”, indica la investigadora de la Universidad de Chile. **En este sentido, mientras la respuesta celular del pez ocurre con mayor rapidez, las transformaciones de la comunidad microbiana podrían requerir una exposición más prolongada.**

¿Una amenaza de largo plazo?

En el océano real, los organismos no enfrentan cada amenaza de manera aislada. El aumento de temperaturas puede combinarse con contaminación, acidificación, cambios en el alimento, enfermedades y otros factores. Respecto a los resultados específicos de este trabajo, la activación de mecanismos de reparación, degradación de proteínas y muerte celular puede permitir enfrentar el estrés, retirar componentes celulares deteriorados y evitar que sobrevivan células con daños graves en el corto plazo. **El problema podría ocurrir cuando esas respuestas se mantienen o se repiten en el tiempo, ya que reparar proteínas, regular la inflamación y reemplazar células requiere energía.**

La investigadora Daniela Nualart plantea que si una proporción creciente de los recursos del organismo debe destinarse a

conservar el equilibrio interno, queda menos energía disponible para otras funciones vitales. “A largo plazo, el aumento sostenido de la temperatura oceánica y una mayor carga de partículas plásticas reducirán la ventana de tolerancia de estas especies. Y si un pez gasta continuamente energía en reparar daño celular y controlar la inflamación o la disbiosis de su microbioma intestinal, destina menos energía al crecimiento, al desarrollo muscular y a la reproducción. El impacto no siempre es la muerte inmediata, puede ser un desgaste silencioso. **Un pez que destina toda su energía a defenderse de contaminantes y al aumento térmico, come mal, crece menos y deja de reproducirse al mismo ritmo**”, advierte.

En ecosistemas tan sensibles como los antárticos y subantárticos, comprender estas señales tempranas podría ser decisivo para detectar los impactos antes de que se expresen en daños difíciles de revertir. Al respecto, la profesora Orlando destaca que si bien “ningún pez murió durante el experimento, eso no significa que los estresores no hayan tenido efecto. A nivel celular, ya observamos que los organismos responden. Por lo tanto, que un organismo sobreviva a un evento de estrés no significa que ese estrés sea gratuito. El costo puede empezar a manifestarse mucho antes de que veamos consecuencias evidentes. **En este caso, se activaron mecanismos relacionados con el estrés celular, la degradación de proteínas y la apoptosis, junto con señales de alteración del microbioma. Si estas respuestas se mantienen a lo largo del tiempo, podrían representar un costo para los peces**”.

Acumulación de proteínas defectuosas, estrés oxidativo, inflamación, deterioro de tejidos y debilitamiento de funciones inmunitarias son parte de los posibles efectos de la persistencia de alteraciones celulares y metabólicas. En los peces estudiados, en definitiva, el costo podría expresarse como menor condición corporal, crecimiento más lento, reducción del éxito reproductivo o mayor susceptibilidad a enfermedades, y **si el fenómeno afectara a muchos individuos**

durante periodos prolongados, eventualmente podría repercutir en la abundancia de las poblaciones. Por ello, la investigadora de la Universidad de Chile plantea que para conocer las consecuencias de largo plazo se necesitarán estudios de exposición crónica durante mayores periodos de tiempo, así como medir crecimiento, reproducción, capacidad inmunitaria, lesiones en los tejidos y recuperación una vez finalizada la exposición a estas presiones ambientales.

Monitoreo polar

Uno de los aportes potenciales del estudio es la identificación de respuestas que podrían utilizarse como señales tempranas de impacto ambiental. Los genes analizados podrían transformarse en biomarcadores si futuros trabajos comprueban que responden de manera consistente a determinadas condiciones y que sus variaciones anticipan efectos sobre la salud de los organismos. **“Esta investigación nos ofrece una suerte de ‘termómetro molecular’ que permite identificar señales de alerta temprana en la fauna antártica mucho antes de que veamos mortandades masivas en el ecosistema.** El análisis de la microbiota y de estos marcadores celulares podrían incorporarse a programas de monitoreo ambiental para vigilar, en etapas tempranas, qué tan impactadas están las zonas cercanas a bases o rutas marítimas frente a las áreas aún prístinas”, afirma la Dra. Daniela Nualart.

El desarrollo de un biomarcador molecular, de esta forma, permitiría detectar estrés antes de observar mortalidad, lesiones extensas o disminuciones poblacionales. En vez de esperar a que una población presente daños visibles, los investigadores podrían analizar muestras de tejidos y reconocer señales de que los mecanismos de protección y reparación celular están siendo sometidos a una presión insostenible. Para avanzar hacia esa aplicación, primero se deberá establecer cuáles genes responden específicamente a la temperatura, cuáles a los microplásticos, cuáles reaccionan a otros tipos de estrés, y cómo responde el organismo ante la

combinación de estos factores. También habrá que determinar los valores normales de cada especie, sus variaciones estacionales y las diferencias relacionadas con edad, sexo, dieta o lugar de origen.