

La proporción de machos en algunos peces puede aumentar por el cambio climático

EN ALGUNAS ESPECIES DE PECES EL SEXO EN LOS INDIVIDUOS ESTÁ DETERMINADO POR LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y NO POR LA INFORMACIÓN GENÉTICA. EN ESE CASO, INCLUSO PEQUEÑOS AUMENTOS DE 1 O 2° C EN LA TEMPERATURA DEL AGUA, COMO LOS QUE SE DARÁN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN UN FUTURO PRÓXIMO, PUEDEN ALTERAR SIGNIFICATIVAMENTE LA PROPORCIÓN DE SEXOS MACHOS-HEMBRAS DESDE LA PARIDAD HASTA TRES VECES MÁS MACHOS QUE HEMBRAS. POR SU PARTE, LAS ESPECIES QUE NO TIENEN DETERMINACIÓN DEL SEXO DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA, TAMBIÉN PODRÍAN VERSE AFECTADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO, PERO NO DE FORMA TAN EXTREMA.



Macho de Cíclido Panda *Apistogramma nijsseni*, una de las especies con determinación ambiental del sexo.

Investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) han descubierto que el cambio climático puede aumentar la proporción de machos en algunas especies de peces. El estudio se ha publicado en julio de 2008 en la revista *PLoS ONE*.

TRANSFORMACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MUNDO. El cambio climático está modificando la vida a escala global. Prácticamente todos los ecosistemas del mundo están siendo afectados por el aumento de las temperaturas, según se desprende de los trabajos científicos publicados desde la década de 1970, que constituyen la base de los cuatro informes redactados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de la ONU.

Los cambios a escala global son debidos fundamentalmente al aumento de las temperaturas, aunque también existen modificaciones causadas por los cambios en el uso de la tierra y por la contaminación. Estos cambios se han producido fundamentalmente en los sistemas biológicos terrestres y los sistemas con temperaturas bajo cero; pero también hay impactos evidentes en los ecosistemas costeros, marinos y de agua dulce.

DETERMINACIÓN DEL SEXO. Los mecanismos que regulan el sexo de los individuos pueden ser de dos tipos. Si el sexo de la progenie está determinado y permanece invariable a partir de la fecundación, se habla de determinación genotípica del sexo. Esto es lo que ocurre en todos los vertebrados superiores tales como mamíferos y aves. En cambio, si el sexo de la progenie puede modularse después de la fertilización mediante factores externos se

habla de determinación ambiental del sexo. Esto es lo que puede ocurrir en algunos vertebrados inferiores como los peces.

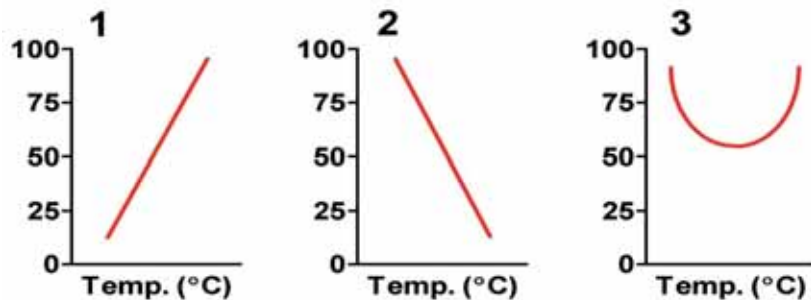
En los mamíferos (incluido el hombre), la determinación del sexo se encuentra exclusivamente en los genes. Los cromosomas sexuales de la mujer son XX y los del hombre XY. Uno de los dos pasará a cada uno de los descendientes. La madre siempre aportará un cromosoma X, y dependiendo de que el padre aporte un cromosoma X o un Y, con un 50% de probabilidades cada uno, su hijo será niña o niño. En las aves se da el fenómeno contrario: es la hembra la que presenta dos cromosomas distintos o heterocromosomas.

En los peces pueden existir cromosomas sexuales o heterocromosomas, siendo frecuentemente la hembra la que los tiene morfológicamente distintos; pero en algunas especies el sexo no viene definido por los cromosomas, sino por un mecanismo mucho más flexible. En este caso, en la determinación del sexo del individuo influyen factores externos como la temperatura, el pH, las hormonas o la condición social. Incluso en aquellos casos en los que depende de los cromosomas, hay factores como la temperatura que pueden variar el resultado. Por ejemplo, peces guppies genotípicamente hembras madurarán como machos si se desarrollan a temperaturas muy altas.

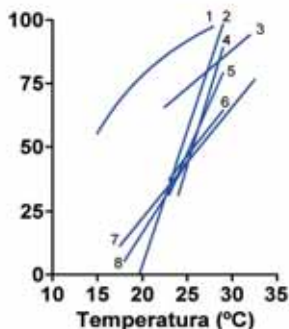
En la determinación del sexo de numerosas especies de cíclidos del género *Apistogramma* se conoce que a mayor temperatura se obtienen más machos. También se sabe que un pH bajo (ácido) del agua aumenta la producción de machos. En cualquier caso, la temperatura y la acidez no son un "todo o nada", ya que a alta temperatura y pH bajo no se produce un 100% de machos, si bien está comprobado que la proporción entre sexos varía según la temperatura, la acidez y la especie.

En el caso de la determinación ambiental del sexo, los individuos de ambos sexos pueden tener diferencias en sus genes, pero sobre todo difieren en los genes que

GRÁFICA 1

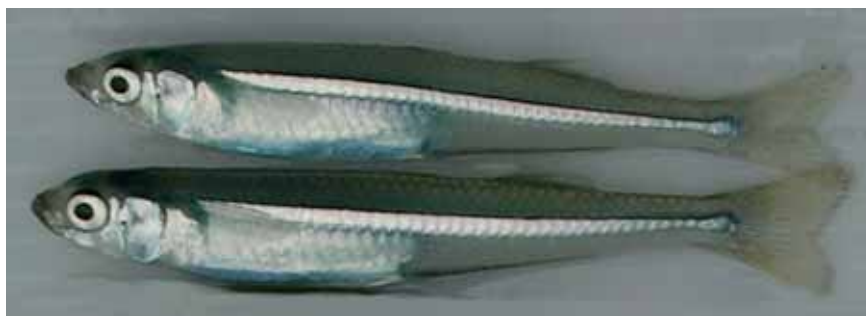


GRÁFICA 2



Gráfica 1. Patrones de respuesta inicialmente propuestos en la proporción de machos (%) a los cambios de temperatura del agua en el desarrollo temprano. A mayor temperatura mayor proporción de machos (1) o mayor proporción de hembras (2), y más machos a temperaturas bajas y altas (3).

Gráfica 2. Patrón de respuesta en la proporción de machos (%) a los cambios de temperatura en especies de peces con verdadera determinación del sexo dependiente de la temperatura (TSD). Los incrementos de temperatura producen siempre mayor proporción de machos.



realmente utilizan. Los factores ambientales, tales como la temperatura, influyen en la secreción de hormonas. En los primeros estadios del desarrollo, cuando se está determinando el sexo, el efecto de dichas hormonas es crucial, pues influyen en la expresión (el uso) de los genes que determinarán el sexo del animal.

LA TEMPERATURA PUEDE DETERMINAR EL SEXO. Hasta ahora se pensaba que en un número apreciable de especies de peces el sexo en los individuos estaba determinado por la temperatura ambiental en vez de por la información genética. Este mecanismo, que se conoce como determinación del sexo dependiente de la temperatura o TSD (por sus siglas en inglés), implica que no hay diferencia genética entre machos y hembras, sino que es la temperatura a la que están sometidos los animales durante el desarrollo temprano lo que determina si un individuo será macho o hembra.

En los peces se han encontrado evidencias que sugerían la presencia de TSD en bastantes especies, generalizándose la opinión de que era algo relativamente común en estos animales. Además, se aceptaba que en los peces existían tres patrones de respuesta a incrementos de temperatura: patrón 1, mayor proporción de machos; patrón 2, mayor proporción de hembras, y patrón 3, más machos a temperaturas bajas y altas, y

una proporción de sexos equilibrada a temperaturas intermedias. De hecho, las especies con TSD se han propuesto como indicadores fiables del cambio climático.

Ahora, un estudio recientemente publicado por científicos del CSIC en la revista *PLoS ONE* desmiente esta creencia. El trabajo revela que muchos casos en los que se había interpretado TSD, son consecuencia de perturbaciones en la proporción de sexos provocadas por unas condiciones anómalas, pero que la determinación del sexo es predominantemente genotípica. Los investigadores Natalia Ospina-Álvarez y Francesc Piferrer del Institut de Ciències del Mar de Barcelona sugieren que en las especies estudiadas el mecanismo TSD de patrón 2 y patrón 3 no existe, sino que en realidad se trata de "artefactos" que se han postulado como resultado de los experimentos en laboratorio, que producían esa desviación en la proporción de sexos al someter a los peces a unas condiciones anómalas.

Para llegar a esas conclusiones el trabajo analiza datos de campo y de laboratorio de las 59 especies de peces para las que se había postulado la existencia de TSD. De ellas, hasta ahora se creía que entre 53 y 55 especies eran de patrón 1, entre dos y cuatro especies de patrón 2, y dos especies de patrón 3. Los investigadores del CSIC demuestran que sólo 40 de las 59 especies tienen realmente TSD y que ninguna de ellas tiene ni el patrón 2 ni el 3 (todas son patrón 1). Algo llamativo, además, es que todas las especies con TSD marinas proceden del Atlántico Occidental, y las dulceacuícolas del centro y sur de América.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SEXO DE LOS PECES. En conclusión, el TSD es mucho menos habitual de lo que se pensaba. Pero, sobre todo, el estudio revela que las especies que sí tienen TSD podrían verse afectadas por el cambio climático, ya que incrementos discretos de temperatura desvían considerablemente la proporción machos-hembras en las poblaciones. Así, por ejemplo, un incremento de 1,5° C en el agua (un aumento prácticamente seguro, según la previsión del panel internacional sobre cambio climático o IPCC) hace aumentar la proporción de machos hasta el 73% en algunas especies. Además, un incremento de 4° C (algo probable según el IPCC) eleva la proporción de machos en los peces con TSD hasta un mínimo del 65% y un máximo del 98%, según especies. Es decir, incluso cambios pequeños de 1 o 2° C pueden alterar significativamente la proporción de sexos desde 1:1 (la paridad) hasta 3:1 (tres veces más machos que hembras). En el peor de los casos estimados sólo podría quedar un 2% de hembras, lo que haría peligrar seriamente la supervivencia de la especie afectada.

Se trata de resultados de simulaciones experimentales, por lo que ahora queda por determinar si los efectos predichos sobre la proporción de sexos debidos al aumento de temperaturas pueden observarse en poblaciones naturales de distintas especies. No obstante, ya hay datos de una especie sudamericana de las más sensibles, el Pejerrey de Argentina *Odontesthes bonariensis*, que sugieren que estos cambios ya se están produciendo en algunas poblaciones naturales. En el caso de las especies de peces que no tienen TSD pero que son sensibles a la temperatura en el desarrollo temprano, también se verían afectadas por el cambio climático, pero de forma menos radical. ■

Pejerrey del Atlántico *Menidia menidia*.

INFORMACIÓN EN LA RED

El artículo original se puede descargar libremente de la página de la revista *PLoS ONE* www.plosone.org. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas informa de sus actividades en www.ipcc.ch, donde se pueden descargar sus informes de evaluación.