



## LOS PECES BIOLUMINISCENTES EN MÉXICO: ¿UN RIESGO PARA EL AMBIENTE?

SERGIO CASTILLO ALVARADO<sup>1</sup>  
FLOR SÁNCHEZ ALEJANDRO<sup>1</sup>  
ROBERTO MENDOZA ALFARO<sup>1</sup>  
PATRICIA KOLEFF<sup>2</sup>

Los peces bioluminiscentes, comercialmente conocidos como GloFish®, se crearon al modificar los peces cebra –ciprínidos, originarios del sureste asiático, emparentados con las carpas y los barbos. A ellos se insertó un gen de fluorescencia natural que les confiere la capacidad de tener colores llamativos que brillan. Su incorporación y comercialización dentro del acuarismo ha sido un gran éxito, y su llegada a México es inminente. Sin embargo, surgen numerosas preguntas, entre ellas: ¿qué riesgos representaría para los peces nativos la posible introducción de un pez genéticamente modificado en nuestro país? ¿Estamos preparados para impedir la liberación accidental de los peces bioluminiscentes en nuestros ecosistemas acuáticos?

### Historia de los peces bioluminiscentes

El pez cebra *Danio rerio*, perteneciente a la familia de los ciprínidos, es nativo de las regiones tropicales

de Asia, específicamente de India, Pakistán, Nepal y Bangladesh. Desde hace más de 60 años es conocido en todo el mundo y ampliamente comercializado como especie ornamental; además, ha sido utilizado como modelo de investigación en genética y biología del desarrollo.

En 2003, científicos de la Universidad Nacional de Singapur presentaron los primeros peces cebra transgénicos con la característica de producir luz –lo que se denomina bioluminiscencia– y de contar con colores muy llamativos. Lo lograron al expresar en ellos proteínas de fluorescencia natural presentes en algunos organismos marinos con el objetivo primordial de utilizarlos como indicadores biológicos de contaminación. Sin embargo, al darse cuenta del potencial económico de estos peces dentro del acuarismo, la empresa estadounidense Yorktown Technologies firmó un convenio con los investigadores para patentarlos e iniciar su comercialización.

La metodología utilizada para la elaboración de este organismo transgénico consistió en la extracción de las proteínas verde fluorescente (GFP, por sus siglas en inglés), amarillo fluorescente (YFP) y rojo fluorescente (RFP). La GFP fue extraída de la medusa bioluminiscente de Norteamérica (*Aequorea victoria*); la YFP es un derivado de la GFP; y la RFP fue aislada del coral del océano Indopacífico (*Discosoma* sp.). Como resultado se obtuvieron peces bioluminiscentes de colores verde, amarillo, rojo y naranja, mismos que reprodujeron hasta conseguir líneas estables de producción.

### Regulación de los peces bioluminiscentes

En 2000, durante la reunión del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), fue adoptado el Protocolo de Cartagena. En él quedó establecido que todos los países signatarios deberían asegurar la implementación de un análisis de impacto ambiental para prever los

Peces cebra modificados genéticamente para hacerlos fluorescentes.

Foto: © www.glofish.com

## La salud de los ecosistemas es fundamental para resistir a posibles especies invasoras

Pez cebra (*Danio rerio*). Aunque no se ha permitido su comercialización en ninguna otra parte del mundo, ya han sido publicadas noticias de su presencia como mascota en algunos países europeos (Alemania y Reino Unido), y extraoficialmente en México, tal vez introducidos por una de las vías de comercio más difíciles de regular, la Internet.

Foto: © M. Noren, FishBase



potenciales efectos adversos de los organismos genéticamente modificados (OGM). No es sorprendente que los dos países involucrados en la creación y venta de los GloFish® (Singapur y Estados Unidos, EUA) no hayan firmado el Protocolo de Cartagena, pero en todos los demás países signatarios (cerca de 103), conforme al Principio Precautorio, las regulaciones deberán ser muy estrictas debido a que no existe la certeza científica de todos los posibles impactos que un organismo transgénico ocasione en el medio ambiente y la salud humana.

La Food & Drug Administration (FDA), en conjunto con el Departamento de Agricultura y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EUA, otorgó el permiso a Yorktown Technologies de comercializar este transgénico argumentando que, al no tener fines alimenticios, el pez ceбра bioluminiscente no representa mayor riesgo que su similar no modificado, que se ha vendido ya por mucho tiempo. Otro argumento para su aprobación fue que los peces cebra, al ser nativos de regiones tropicales de Asia, no podrían sobrevivir bajo las condiciones climáticas de EUA.

Algunos científicos califican este permiso de venta como un antecedente peligroso y una muestra de la escasa legislación actual porque consideran que la FDA no realizó un

análisis adecuado de todos los impactos al ambiente y a la salud que pudiesen originar los GloFish®. Adicionalmente, debido a la facilidad con la que se aceptó a este OGM, temen que se comercialicen otros futuros organismos transgénicos que pudieran representar un riesgo importante.

En México, en 2005 fue expedida la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y se creó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), como entidad encargada de coordinar las políticas de la administración pública federal relativas a la bioseguridad y a todo uso y aprovechamiento de los OGM, así como sus productos y subproductos. La adopción del Principio Precautorio establece una mejor relación costo-eficacia y es preferible a la adopción de medidas posterior a la introducción de una especie exótica con potencial invasivo.

### Análisis de riesgo

Una de las principales herramientas precautorias para determinar el grado de peligrosidad de los organismos que deban o no entrar a nuestro país son los análisis de riesgo, estudios en los cuales se recopila la mayor información posible del organismo en cuestión y, con base en preguntas clave, se deter-

mina si representa un riesgo para el país. En este artículo se presentan los resultados del análisis de riesgo FISK®, utilizado para peces no nativos que vayan a ser introducidos en una región. Además, incluye un análisis de riesgo que considera la modificación genética.

### Biología de la especie

El pez cebra se encuentra comúnmente en aguas tranquilas poco profundas con o sin vegetación, aunque también se ha reportado su presencia en las márgenes de ríos con corriente. Por lo general, ocupa toda la columna de agua, alimentándose desde el sustrato hasta la superficie. Tiene una dieta omnívora, pero se alimenta sobre todo de insectos y microcrustáceos.

Su tasa reproductiva es alta, un promedio de 200 huevos por puesta (hasta 900 en condiciones controladas), y con una fertilización externa pueden reproducirse cada dos o tres días durante todo el año dependiendo de la disponibilidad de alimento. Presentan cuidado parental de los nidos, que eclosionan a los dos días de fertilizados; los alevines buscan alimento a los tres días de nacidos y alcanzan su madurez sexual a los tres meses.

### Rutas de introducción

El acuarismo es la vía principal de posible acceso de los GloFish® a México. Son muchas las especies exóticas que así han sido introducidas en nuestro país, y que se vuelven invasoras. Como ejemplo está el pez joya en Cuatrociénegas o los plecos en el sureste de México (ver *Biodiversitas* 70, enero-febrero de 2007). Ambas especies tal vez fueron liberadas intencionalmente al medio natural por personas que ya no querían cuidarlas en sus acuarios o por escapes de las granjas de

producción, lo que ha provocado un daño significativo en los ecosistemas acuáticos, que se traduce en grandes pérdidas y gastos económicos para nuestro país.

### Condiciones climáticas

Como ya fue mencionado, GloFish® fue aceptado en EUA porque al parecer no podría sobrevivir en el clima de Norteamérica; no obstante, Fuller *et al.*<sup>1</sup> reportan apariciones del pez cebra natural (no modificado genéticamente) en los estados de California, Connecticut y Florida, y una población establecida en Nuevo México, lo que indica que aunque sea una especie tropical puede residir en regiones con diferentes climas. Además, la denominación "tropical" queda en entredicho dado que el clima de las regiones de su distribución natural va de 6°C en invierno a 38°C en verano. Otra posibilidad es que al ser una especie que se reproduce con rapidez puede aclimatarse poco a poco a condiciones climáticas más frías.

En México actualmente no hay registro de la presencia del pez cebra en el medio natural, pero el riesgo es aún mayor que en EUA debido a que aquí existen zonas con clima tropical similares a las de su hábitat de origen, como sucedió con la liberación accidental y naturalización del pez cebra en Colombia, cuyo clima es muy similar al de regiones tropicales de México.

Es importante destacar la importancia de la conservación de los ecosistemas frente al posible potencial invasor de una especie. Un ambiente saludable presenta una mayor resiliencia hacia las especies invasoras, en cambio los ecosistemas más degradados y modificados son más susceptibles a ellas.

### Modificación genética

La mayoría de los científicos menciona que los colores brillantes provocarán que los depredadores puedan detectar más fácilmente a estos peces y, por ende, contribuyan a su desaparición;<sup>2</sup> sin embargo, también existe la posibilidad de que se presente el fenómeno conocido como aposematismo, que consiste en que algunos organismos presentan rasgos llamativos a los sentidos como señal de advertencia para alejar a sus depredadores (el color rojo en organismos venenosos, por ejemplo) y, con ello, la población prolifera. El único estudio referente a este tema lo reportan Cortemeglia y Beitinger,<sup>2</sup> en el que utilizaron como depredador a la lobina (*Micropterus salmoides*) y concluyen que no hay diferencias significativas en la depredación de los peces cebra silvestres y los transgénicos.

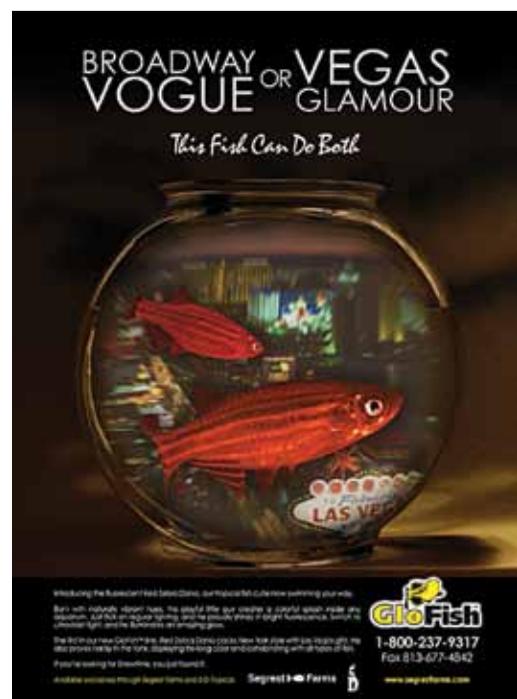
Otro riesgo serio es la posible hibridación, fenómeno muy frecuente en peces, que se da cuando organismos de diferentes especies logran reproducirse entre sí. Si bien el género *Danio* es exclusivo de Asia, hay antecedentes de hibridación entre distintos géneros, y como en México la familia Cyprinidae es una de las más numerosas, los peces cebra bioluminiscentes podrían llegar a hibridarse con algunas especies nativas, lo que provocaría desequilibrios en las poblaciones de peces, difíciles de diagnosticar.

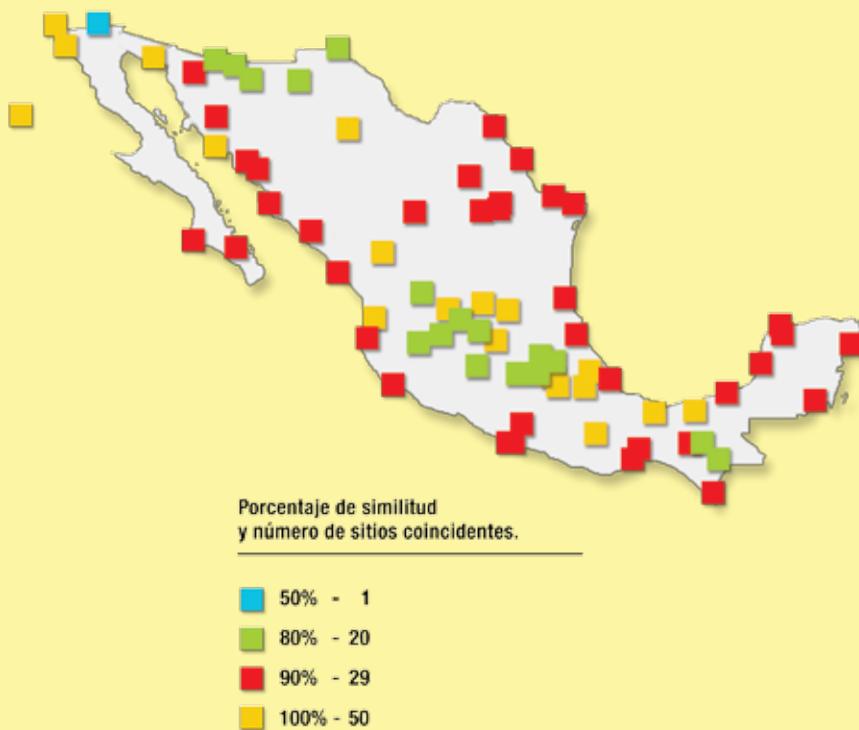
Hasta el momento, se han realizado varios experimentos para determinar la toxicidad y alergenicidad de la proteína fluorescente en organismos que puedan llegar a consumirla, pero no ha sido encontrada evidencia negativa alguna, aunque no se excluye la posibilidad de que se presenten efectos adversos a largo plazo.

### Contingencia

A pesar de que por el momento está prohibida la comercialización de GloFish® en nuestro país, no se ha impedido su entrada ilegal. Por ello es urgente que la sociedad sea consciente de los posibles impactos que pueden tener estas singulares mascotas.

Se debe promover la certificación de los establecimientos, de manera que sea obligatorio que cuenten con infraestructura y métodos de manipulación que impidan la liberación accidental de organismos y la transmisión de enfermedades a otros organismos en vida silvestre. Será necesario que se incluyan en la normatividad análisis de riesgo, certificaciones HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) y estudios de impacto ambiental, así como la obligatoriedad de comercializar únicamente organismos estériles o del mismo sexo que aseguren el control total de los riesgos.





Similitud climática (parámetros térmicos) de México con la región nativa (India, Bangladesh y Nepal) del pez cebra (*Danio rerio*).

Si bien los importadores ilegales crean redes bien coordinadas, los pequeños comerciantes carecen de la información técnica necesaria acerca de las especies y su posible potencial invasivo; por consiguiente, es importante fomentar programas de educación enfocados en los comerciantes e incentivar a aquellos que cumplan al pie de la letra con las regulaciones.

Esto representa un área de oportunidad para la cooperación entre la Secretaría de Economía, la SEMARNAT y CONABIO para la difusión de especies nativas que sean seguras y candidatas a ser explotadas en el acuarismo. A la par de esta actividad debe impulsarse la educación ambiental que contemple prácticas seguras e información sobre la biología de las especies nativas y exóticas, que a largo plazo generará la conciencia colectiva que logre identificar especies exóticas en el medio ambiente (que, en el mejor de los casos, pueda estar en etapas de colonización aún controlables). Uno de

los mensajes más importantes que se debe difundir es la correcta disposición de las mascotas, la cual consiste en congelarlas y desecharlas.

### Conclusiones

El análisis de riesgo utilizado (FISK®) arrojó como resultado que los peces cebras representan un riesgo para México y, por consiguiente, no deben ser introducidos en nuestro país; pero además, considerando que los GloFish® son OGM, deben tomarse las medidas precautorias adecuadas.

Se puede afirmar que hay probabilidades de que la especie se establezca en aguas mexicanas aunque la magnitud de los impactos es difícil de diagnosticar. La intención es dar a conocer posibles escenarios de riesgo para que todos los sectores trabajen de manera conjunta. A pesar de que no se pueden predecir con exactitud los efectos de las especies exóticas, la prevención es un aspecto muy importante, sobre todo considerando

que los costos de una actuación tardía serán mucho mayores.

Finalmente, cabe la pregunta: ¿vale la pena poner en riesgo nuestro patrimonio natural, especies de peces y ecosistemas acuáticos por una especie ornamental que brilla? La bioluminiscencia es una característica asombrosa en la naturaleza y podemos observarla en muchos mares de México.

### Bibliografía

- Fuller, P.L., L.G. Nico, y J.D. Williams. 1999. "Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States", en *American Fisheries Society Special Publication* 27.
- Cortemeglia, C., y T. Beitingger. 2006a. "Susceptibility of Transgenic and Wildtype Zebra Danios, *Danio rerio*, to Predation", en *Environmental Biology of Fishes* 76 (1): 93-100.
- Bratspies, R. 2006. "Glowing in the Dark: How America's First Transgenic Animal Escaped Regulation", en *Minnesota Journal of Law, Science & Technology* 6 (2): 457-504.



- Cortemeglia, C., y T. Beiting. 2006b. "Projected US Distributions of Transgenic and Wildtype Zebra Danios, *Danio rerio*, Based on Temperature Tolerance Data", en *Journal of Thermal Biology* 31 (5): 422-428. <http://www.fishbase.com>
- Food & Drug Administration (FDA). 2003. United States Food & Drug Administration Statement Regarding GloFish® Fluorescent Fish, consultado en <http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2003/NEW00994.html>
- Florida Department of Agriculture and Consumer Service. 2005. State of Florida Division of Aquaculture Analysis of Fluorescent Zebra Fish, consultado en <http://www.glofish.com/science.asp>
- Fossa, S.A. 2002. "Genetically Modified Organisms in the Aquatic Trade?", en *Ornamental Fish International Journal* 39, consultado en <http://www.glofish.com>
- Gong, Z., H. Wan, T. Leng Tay, H. Wang, M. Cheng y T. Yan. 2003. "Development of Transgenic Fish for Ornamental and Bioreactor by Strong Expression of Fluorescent Proteins in the Skeletal Muscle", en *Biochemical and Biophysical Research Communications* 308: 58-63.
- Hayes, K.R., A.R. Kapuscinski, G. Dana, S. Li y R.H. Devlin. 2006. "Introduction to Environmental Risk Assessment of Transgenic Fish", en A.R. Kapuscinski, S. Li, K.R. Hayes y G. Dana (eds.), *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms Series*, vol. 3: *Methodologies for Transgenic Fish*. CAB International, Londres, 2007.
- Knight, J. 2003. "GloFish Casts Light on Murky Policing of Transgenic Animals", en *Nature* 426 (372).
- Mendoza, R., C. Ramírez, S. Contreras, P. Koleff, P. Álvarez y V. Aguilar. 2007. *The Role of Freshwater Ornamental Fish Industry in Mexico as an Invasive Aquatic Species Pathway*. Reporte Interno para la Comisión de Cooperación del Ambiente.
- Scientist' Working Group on Biosafety. 1998. *Manual for Assessing Ecological and Human Health Effects of Genetically Engineered Organisms. Part One: Introductory Materials and Supporting Text for Flowcharts*. The Edmonds Institute, Edmonds.
- Snekser, J.L., S.P McRobert, C.E. Murphy y E.D. Clotfelter. 2006. "Aggregation Behavior in Wildtype and Transgenic Zebrafish", en *Ethology* 112: 181-187.
- Spence, R., G. Gerlach, C. Lawrence y C. Smith. 2008. "The Behavior and Ecology of the Zebrafish, *Danio rerio*", en *Biological Reviews* 83: 13-34.
- State of California Department of Fish and Game. 2003. State of California Department of Fish & Game Analysis of Fluorescent Zebra Fish, consultado en <http://www.glofish.com/science.asp>
- Van Eenennaam, A.L., y P.G. Olin. 2006. "Careful Risk Assessment Needed to Evaluate Transgenic Fish", en *California Agriculture* 60 (3):124-131.
- Así como México, el estado de California en Estados Unidos, Canadá, Australia, el Reino Unido y la Comunidad Europea han prohibido la importación de organismos genéticamente modificados.

Foto: © www.glofish.com

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León [roberto.mendoza7@yahoo.com](mailto:roberto.mendoza7@yahoo.com)

<sup>2</sup>Dirección de Análisis y Prioridades, CONABIO