


2005

Crisis global de biodiversidad: importancia de la diversidad genética y la extinción de anfibios

Rafael O. de Sá

University of Richmond, rdesa@richmond.edu

Follow this and additional works at: <http://scholarship.richmond.edu/biology-faculty-publications>

 Part of the [Biodiversity Commons](#), [Population Biology Commons](#), and the [Terrestrial and Aquatic Ecology Commons](#)

Recommended Citation

de Sá, Rafael O. "Crisis global de biodiversidad: importancia de la diversidad genética y la extinción de anfibios." *Agrociencia IX*, no. 1-2 (2005): 513-22.

This Article is brought to you for free and open access by the Biology at UR Scholarship Repository. It has been accepted for inclusion in Biology Faculty Publications by an authorized administrator of UR Scholarship Repository. For more information, please contact scholarshiprepository@richmond.edu.

CRISIS GLOBAL DE BIODIVERSIDAD: IMPORTANCIA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA Y LA EXTINCIÓN DE ANFIBIOS

de Sá, R. O.¹

RESUMEN

El mundo enfrenta, por primera vez desde el comienzo de la civilización, el declive y la extinción de una clase de vertebrados, los anfibios. Esta extinción aparenta ser un evento global y de la magnitud que llevó a la desaparición de los dinosaurios. Muchas son las posibles causas de esta extinción y el efecto combinado de estos factores agravan la situación. La pérdida de ambientes naturales permanece como el factor más crítico en el declive de anfibios, pero enfermedades infecciosas emergentes parecen ser responsables de mortalidades masivas en décadas recientes. El declive y extinción de anfibios representa una llamada urgente para entender la calidad del medio ambiente que habitamos y las causas de su deterioro. La reciente Reunión de Conservación de Anfibios (Amphibian Conservation Summit) resultó en la elaboración de un plan de acción interdisciplinario y el lanzamiento de nuevas iniciativas de financiamiento para la conservación de anfibios.

PALABRAS CLAVE: Anfibios, declives, causas, plan de acción.

SUMMARY

GLOBAL BIODIVERSITY CRISIS: GENETIC DIVERSITY AND AMPHIBIAN EXTINCTION

The world faces, for the first time since the beginning of civilization, the decline and extinction of a vertebrate class, the amphibians. The extinction appears to be a global event of the same magnitude that causes the disappearance of dinosaurs. There are multiple causes for the declines and extinction, however the combined effects makes the situation worst. The lost of natural habitats remains as the main cause of amphibians decline, however emerging infectious diseases could be responsible for mass mortalities in recent decades. The amphibians' decline and extinction is a wake up call to understand the quality of the environment that we inhabit and the causes of its impoverishment. The recent Amphibian Conservation Summit presented an interdisciplinary plan of action and the launch of an Amphibian Conservation Actino Fund needed to understand amphibian declines.

KEY WORDS: Amphibians, decline, causes, action plan.

INTRODUCCIÓN

A qué nos referimos cuando hablamos de un declive de anfibios? Nos referimos a un evento que esta ocurriendo a nivel mundial y a consecuencia del cual poblaciones y especies de anfibios están disminuyendo en su número de poblaciones y muchas de estas poblaciones y especies han desaparecido, es decir se extinguieron (Stuart *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2004). Actualmente un tercio (32%) de las especies de anfibios en el mundo están amenazadas, aproximadamente 122 se han extingui-

do desde 1980, y por lo menos un 43% de las especies están pasando eventos de declive poblacional. Recordemos que la extinción de especies es para siempre; es la desaparición de una línea evolutiva que ha estado presente y compartiendo nuestro medio natural y ya nunca lo estará.

¿Cuándo empezó este declive? ¿Es el declive un fenómeno reciente? Además, ¿es esta devastación consecuencia de un evento, un solo proceso, un solo culpable? ¿O por el contrario, hay más de un culpable, más de un proceso, que están afectando a las poblaciones de anfibios?

¹Department of Biology University of Richmond Richmond, VA 23173, USA.

Hasta la década de los años 80, la comunidad científica no se había enfocado en la tarea específica de la conservación de las poblaciones de anfibios. Por el contrario, la única protección en la naturaleza otorgada a este grupo de vertebrados era la protección recibida a partir de la protección de otras especies (en general mamíferos y aves) y la creación de parques y reservas para la protección de estas especies. Sin embargo, el declive de anfibios parece haber comenzado en la década de los 50's (Houlahan *et al.*, 2000). Durante la década de los 80's, la comunidad científica herpetológica, especialmente aquellos colegas cuyos programas de investigación requieren trabajo de campo intensivo, comenzaron a notar con más frecuencia que las poblaciones de anfibios en localidades anteriormente visitadas habían disminuido en su densidad poblacional y en algunos casos desaparecido completamente (Blaustein & Wake, 1990; Hayes & Jennings, 1986; Heyer *et al.*, 1988; Ingram, 1990; Wake & Morowitz, 1991; Weygoldt, 1989). Estos declives han sido reportados para varios continentes (Australia, África, América del Sur, América Central, América del Norte, Asia, y el Caribe), teniendo entonces un carácter global, y fueron el foco de varias discusiones e intercambios durante el 1er Congreso Mundial de Herpetología, 1989, Canterbury, Inglaterra. A partir de entonces, dos cosas ocurrieron en forma simultánea durante la década de los 90's. Por un lado la comunidad científica intensificó los esfuerzos por verificar las observaciones reportadas. Desafortunadamente, para la mayoría de las localidades estudiadas anteriormente no se habían acumulado datos cuantitativos de valor comparativo o no se habían realizado monitoreos de largo plazo. Básicamente eran observaciones puntuales. De todas maneras estos datos puntuales sirvieron como datos basales para iniciar monitoreos anuales. Durante los 90's se iniciaron la mayoría de los monitoreos que hoy son el centro de datos para entender y explicar el actual declive y extinción de poblaciones y especies. También se divulgaron protocolos estándares de monitoreo (Lips, 2001) para la obtención de datos comparables entre localidades. Por otro lado, en los 90's se incrementaron, en forma alarmante, los reportes de desapariciones de anfibios (Collins *et al.*, 2004; Collins & Storfer, 2003; Lips *et al.*, 2005a,b, Young *et al.*, 2001,2004, ver trabajos citados en estas revisiones). Posiblemente haya una correlación entre la acumulación de estos datos de declive con la intensificación de monitoreos; pero esta correlación no tiene por que ser la única explicación. Además un patrón que parece emerger de estos estudios es que los declives ocurren en forma rápida e incluso en áreas protegidas (Burrowes & Joglar, 1991; Knapp & Mathews, 2000, Lips, 1998, 1999).

El declive de anfibios en el continente americano es preocupante, si consideramos que de las aproximadamente 5.800 especies conocidas en el mundo aproximadamente unas 3.100 habitan el nuevo mundo, representando más del 50% de la diversidad mundial de anfibios (Frost, 2005). De éstas, unas 90 corresponden a cecilias, 400 a salamandras, y unas 2.600 a ranas y sapos. Dentro de este contexto, América del Sur, con aproximadamente 2.100 especies, tiene más especies de anfibios que cualquier otra región del mundo. En el nuevo mundo, 39% de las especies de anuros y 46% de las especies de salamandras están extinguidas o amenazadas de extinción; no hay datos para las especies de cecilias (Young *et al.*, 2004). Nueve especies en las Américas se encuentran en la categoría de extintas, cinco de estas especies se extinguieron desde 1980.

CAUSAS DE LOS DECLINACIONES

En la última década se han propuesto varios posibles procesos o mecanismos para explicar el declive de anfibios.

Modificaciones del Hábitat (desde fragmentación hasta desaparición)

La mayoría de los anfibios tiene ciclo de vida bifásico, acuático y terrestre, por lo cual planes de manejo y protección de anfibios requieren la protección simultánea de ambos ambientes. La deforestación, ya sea para agricultura, ganadería, o asentamientos humanos, lleva a la pérdida de ambientes naturales necesarios para el mantenimiento de poblaciones de anfibios en condiciones favorables para su reproducción y supervivencia. Esto se acentúa cuando las actividades humanas implican el desecamiento de tierras húmedas. También la creación de barreras (ej. carreteras, agricultura con cambios de composición química del suelo, etc.) que impiden la dispersión de anfibios, disminuyendo así la diversidad genética, son factores detrimentales para la viabilidad de las poblaciones de anfibios.

Contaminación

Es especialmente el caso de la involuntaria contaminación de aguas dulces en charcas y lagunas debido al continuo "lavado de suelos" por las lluvias que ocasionan el filtraje de pesticidas (herbicidas e insecticidas) y fertilizantes utilizados en agricultura hacia ambientes de agua dulce (Lenoir *et al.*, 1999; Stallard, 2001). La contaminación también ocurre como resultado de las lluvias ácidas que cambian el pH de los suelos y contribuyen a la contamina-

ción de aguas temporales fundamentales para la reproducción de anfibios (Beebee *et al.*, 1990; Harte & Hoffman, 1989; Hayes *et al.*, 2002a,b, Lajmanovich *et al.*, 2003, Izaguirre *et al.*, 2000; Sparling, 1995; Session *et al.*, 1999).

El factor de contaminación de agua dulce es un serio problema considerando que: 1) los anfibios tienen una piel desprotegida (ej., sin pelos, escamas o plumas) y permeable que utilizan para la respiración e hidratación necesaria para mantener su fisiología. Esta característica de la piel de los anfibios implica un continuo pasaje y absorción de productos del medio ambiente, incluyendo los contaminantes del ambiente. Muchos de estos contaminantes penetran y se acumulan en el cuerpo de los anfibios. 2) Además, aquellos anfibios que depositan sus huevos en el agua y en los cuales los estados larvales son exclusivamente acuáticos, la contaminación o la eutrofización de las aguas dulces pueden llevar a la interrupción del desarrollo de las posturas o a la muerte prematura de los estados larvales.

Radiación Ultravioleta

Particularmente el componente de rayos b de la radiación ultravioleta es perjudicial pues dañan la piel de los adultos así como afectan la viabilidad y desarrollo de huevos y larvas. El efecto en huevos y larvas de los UV-b, así como la contaminación, afectan el reclutamiento de individuos en las poblaciones y la viabilidad de las poblaciones a largo plazo (Anzalone *et al.*, 1998, Blaustein *et al.*, 1994; Kiesecker & Blaustein, 1995; Lizana & Pedraza, 1998; Middleton *et al.*, 2001; Pahkala *et al.*, 2002). Estudios sobre el efecto de rayos UV-b en poblaciones naturales de anfibios son inconclusos. Por un lado, análisis en comunidades de anuros de Australia sugieren que el incremento de UV-b reduce la sobrevivencia de huevos y larvas (Broomhall *et al.*, 2000). Por otro lado, estudios en poblaciones de *Pleurodema bufonina* y *Bufo variegates* en Patagonia, Argentina (clásico ejemplo de zona afectada por debilitamiento de la capa de ozono) no demostraron efectos negativos en el desarrollo de estas especies.

Cambios Climáticos

Los cambios globales de clima, en particular los cambios de temperatura y precipitación, son responsables de alteraciones en los microclimas y en los patrones reproductivos de los anfibios (Alexander y Eischeid, 2001; Carey *et al.*, 2001, Carey y Alexander, 2003; Heyer *et al.*, 1988; Laurance *et al.*, 1996; Pounds and Crump, 1994; Pounds *et al.*, 1999; Stewart, 1995, Weygoldt, 1989; Parra-Olea *et al.*, 2005).

Comercio

La extracción de especies en la naturaleza para el comercio nacional e internacional contribuye a la decimación de las poblaciones de anfibios. Esto afecta en particular a especies de coloraciones brillantes o llamativas, por ejemplo los géneros *Atelopus*, *Melanophryniscus*, y la familia Dendrobatidae (Jennings & Hayes, 1985; Salas, 1995; Gorzula, 1996). Por ejemplo, no sabemos el efecto sobre las poblaciones de la colecta de un gran número de individuos de algunas especies del género *Atelopus* con destino al comercio internacional (La Marca *et al.*, 2005). Pero sí sabemos que por lo menos 42 (37%) de las 113 especies de *Atelopus* están en declive (La Marca *et al.*, 2005; Lips *et al.*, 2005).

Especies exóticas

La introducción de especies exóticas en ambientes acuáticos para la producción alimentaria es también un factor a considerar en el declive de los anfibios en el nuevo mundo. Por ejemplo, la introducción de truchas, salmónidos, y *Tilapia*, así como de la Rana toro (*Rana catesbeiana*), deciman las poblaciones de anfibios al alimentarse de huevos, larvas y juveniles de las especies nativas. Las especies *Telmatobius atacamensis* están casi extintas y *Somuncuria somuncurensis* está fuertemente amenazada a causa de la introducción de peces exóticos (E. Lavilla, com. pers.). En Norte América la erradicación de truchas exóticas llevó a la recuperación de las poblaciones nativas de *Rana muscosa* (Knapp *et al.*, 2001; Vredenberg, 2004).

Enfermedades

Algunos de los patógenos conocidos que infectan a anfibios son el hongo *Saprolegnia* que causa gran mortandad de huevos y embriones (Kiesecker & Blaustein, 1999) y que puede ser introducido en poblaciones de anfibios a través de la liberación para la pesca deportiva de peces infectados (Blaustein 2001, Kiesecker *et al.*, 2001a, 2001b). Otro hongo responsable de la infección de peces y anfibios es *Ichtiophonus fungus*. También un enigmático organismo mesomicetozoático ha sido reportado como causante de muertes masivas en anfibios (Green *et al.*, 2003). *Ranavirus* ha sido asociado con la mortalidad de salamandras en América del Norte (Jancovich *et al.*, 2003). También se ha aislado la bacteria *Aeromonas hydrophila* de granjas de anfibios (Huys *et al.*, 2003).

En la década de los años 90, la comunidad científica comenzó a sospechar de elementos patógenos como causante de algunos de los declives de anfibios, especialmen-

te aquellos calificados como enigmáticos (Carey, 1993; Carey *et al.*, 1999; Daszak *et al.*, 1999; Jancovich *et al.*, 1997; Kiesecker & Blaustein, 1995; Laurance *et al.*, 1996; Mao *et al.*, 1999; Muths *et al.*, 2003; Lips, 1998, 1999; Scott, 1993). Estos esfuerzos culminaron cuando en 1998 se encontró un hongo parásito de la piel de los anfibios (Berger *et al.*, 1998), el cual fue seguidamente descrito y caracterizado como un hongo quitridio patogénico de anfibios y denominado *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd, Longcore *et al.*, 1999). Los hongos quitridios juegan un papel importante en el ecosistema como degradadores de quitina, proteínas, celulosa, polen, y queratina. Justamente es esta última actividad la que parece afectar a los anfibios, pues en anfibios infectados ataca las estructuras queratinizadas de larvas y adultos. Posiblemente las lesiones causadas por *B. dendrobatidis* en los adultos son causa de posteriores infecciones y/o afectan la homeostasis de los individuos al alterar la función normal de la piel.

Este hongo patógeno ha sido reportado en varias de las localidades que han experimentado un profundo declive de las poblaciones de anfibios (Berger *et al.*, 1998; Burrowes *et al.*, 2004). Además, *B. dendrobatidis* ha sido reportado para 14 especies de *Atelopus*, 9 de las cuales han desaparecido. El análisis histológico de 106 ejemplares preservados de *Eleutherodactylus* de Puerto Rico entre 1961 y 1978, reveló que dos de las tres especies de *Eleutherodactylus* que habitaban la zona protegida de El Yunque y que hoy día se consideran extintas, estaban infectadas en 1976 (Burrowes *et al.*, 2004). Incluso el último ejemplar colectado de *E. karlschmidti*, corresponde al primer registro de *B. dendrobatidis* in Puerto Rico en 1976. Análisis de muestras de *B. dendrobatidis* provenientes de Australia y el nuevo mundo (Norte, Centro y Sudamérica) no muestran prácticamente diferencias genéticas entre las cepas, lo cual sugiere que ésta es una enfermedad pandémica reciente (Morehouse *et al.*, 2003). La expansión de este patógeno ha sido asociada con el comercio de anfibios para alimentación y mascotismo (Mutschmann *et al.*, 2000, y Mazzoni *et al.*, 2003) así como también a la distribución global de *Xenopus* para test de embarazo desde los años 50 (Weldon *et al.*, 2004).

El grupo de investigadores de RANA (Research and Analysis Network for Neotropical Amphibians) concluye que todas las comunidades de anfibios por encima de los 500 m de altitud han sido afectadas por declives de poblaciones (Lips *et al.*, 2005). Burrowes *et al.* (2004) señalan que los factores comunes en la extinción y declive de especies en Puerto Rico son la altitud y las especializaciones ecológicas (habitantes de bromelias o arroyuelos de alta montaña, Joglar, 1998; Joglar & Burrowes, 1996). Piotrowski

et al. (2004), señalaron que las condiciones favorables para el crecimiento de Bd son las temperaturas bajas y los ambientes húmedos. Esto puede entonces explicar la alta susceptibilidad de especies de altitud asociadas a ambientes húmedos a la infección por este patógeno. Estos datos fueron confirmados en el reciente Congreso Latinoamericano de Herpetología, Cuernavaca, México, donde se reportó que el 75% de las poblaciones de anfibios viviendo por encima de los 1000 m han desaparecido.

FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS INFLUYEN EN EL DECLIVE

La gran diversidad de anfibios en América del Sur se debe a la historia geológica del continente, la predominancia de ambientes tropicales y subtropicales, y vastas zonas húmedas. Esto resulta en una heterogeneidad de ambientes en América del Sur enmarcada en unas 20 eco regiones de humedales y más de 100 eco regiones terrestres.

América Latina, incluyendo el Caribe, es habitada por aproximadamente 535 millones de personas con necesidades de alimentación, energía, y vivienda. Se estima que la población en América Latina crecerá entre 1.5-1.7% (<http://web.worldbank.org>; <http://www.unfpa.org/latinamerica>) por año, y que para el año 2050 alcanzará entre 760-790 millones de habitantes (durante el mismo período América del Norte alcanzará los casi 450 millones de habitantes).

Indudablemente este crecimiento poblacional pondrá aun mayores presiones en el ambiente natural. Entre estas presiones se destaca la continua expansión de los ambientes dedicados a la actividad agropecuaria y el correlacionado deforestamiento de ambientes naturales. Efectos directos de esta actividad son el incremento de la pérdida de hábitats, la pérdida de la capa superficial de suelo fértil, y la compactación de suelos a consecuencia del aumento de herbicidas, pesticidas, y fertilizantes. Los últimos también resultarán en un incremento de la contaminación de medios propicios para la sobrevivencia de anfibios. Los efectos sinérgicos de estos procesos concluyen con la desertificación de áreas anteriormente bioproductivas.

Otro factor asociado al incremento de población, es la migración espontánea (e incluso a veces las políticas de reasentamiento y colonización) hacia áreas previamente no ocupadas y que son percibidas como “tierras fértiles”, por lo menos a un corto plazo (ej. invasión de la Amazonia por agricultores).

La necesidad de la población de recursos de minería y energía, particularmente hidrocarburos, también tiene consecuencias importantes en la modificación de ambientes naturales. La exploración y explotación de hidrocarburos

en el nuevo mundo posiblemente aumentará debido a la inestabilidad social y política en países productores (ej. Nigeria, Irak, etc.) así como también a consecuencia de huracanes que recientemente han arrasado los focos de extracción en el Golfo de México (ej. Huracán Katrina).

ESTUDIOS DE DIVERSIDAD GENÉTICA Y EL DECLIVE DE ANFIBIOS

Análisis evolutivos y de diversidad genética en anfibios son críticos para entender la dinámica de poblaciones y flujo génico de las poblaciones, así como con fines de conservación para entender claramente cuales son las unidades biológicas a proteger y, como en toda epidemia, para descifrar la potencial resistencia genética y los mecanismos epidemiológicos de dispersión de los patógenos. Ilustraré esto con ejemplos de análisis evolutivos de diversidad derivados de mi laboratorio en anuros de los géneros *Callulina* y *Leptodactylus*.

Hasta hace muy pocos años, el género africano *Callulina* era considerado monotípico (*C. kreffti*) y endémico al Arco Este de Montañas Africanas en Tanzania. El análisis genético reveló que las poblaciones que habitan las Montañas Usambara del Oeste y las que se encuentran en las Montañas Usambara del Este (*C. kreffti*) corresponden a dos especies diferentes. Además muestras provenientes de las localidades de Ambangula y Mazumbai, Usambaras del Oeste, están geográficamente más lejos entre sí, que las muestras de Mazumbai están de *C. kreffti* de Nilo, Usambaras del Este; esto sugiere que las diferencias genéticas no son el resultado de variaciones clinales entre poblaciones, sino diferencias a nivel específico. Las poblaciones de Mazumbai y Ambangula fueron descritas y denominadas *C. kisiwamsitu* (de Sá *et al.*, 2004). Esto indica que los procesos de especiación en alta montaña con siguiente aislamiento del “pool” genético en cada montaña han resultado en la diferenciación de estas dos especies. Importante es continuar con este estudio dada la posibilidad que existan otras especies de *Callulina* en el rango de distribución de la especie que hoy llamamos *C. kreffti*. Las especies de *Callulina* ocupan los remanentes de bosque húmedo de alta montaña. Como objetivo de conservación, este estudio sugiere que no es suficiente proteger solamente algunas poblaciones de esta especie y que es necesario hacer estudios genéticos de poblaciones aisladas en otras montañas para determinar su posición filogenética.

Situaciones similares podemos encontrar en el Nuevo Mundo donde varios géneros (ej. *Melanophryniscus*, *Brachycephalus*, etc.) pueden tener similares patrones de especiación asociados a ambientes de altitud donde las

“poblaciones” se encuentran genéticamente aisladas entre sí.

En los últimos 6 años, junto con Ronald Heyer, hemos iniciado un análisis de la diversidad genética y evolución del género neotropical *Leptodactylus*. Estudios preliminares de la diversidad genética de especies de *Leptodactylus* de amplia distribución en América Latina han resultado en una mayor diversidad en el género de lo anteriormente previsto.

La especie *Leptodactylus fuscus* se encuentra distribuida a través de América del Sur al este de los Andes desde Panamá hasta Argentina. Análisis moleculares recientes (Camargo *et al.*, 2005) han demostrado que la gran variabilidad morfológica en esta especie enmascara la diversidad genética de la misma. En este estudio se identificaron tres unidades evolutivas, es decir tres clados exclusivos que pueden representar tres especies diferentes. La diferenciación genética entre estas tres unidades evolutivas corresponde vacila entre 4 y 8%, rango que sobrepasa el 2% de distancia genética utilizado como base para el reconocimiento de especies en otros estudios. A pesar de ello, no se reconocieron nuevas especies debido a la falta de muestras en otras localidades necesarias para identificar los límites de cada una de estas unidades. Esta situación muestra uno de los problemas más claros que tenemos en América Latina, la falta de fondos necesarios para realizar los muestreos de campo necesarios para entender la biodiversidad de anfibios en la región. Recordemos aquí que a pesar que América Latina alberga la mayor diversidad de anfibios, se estima que aproximadamente un 20% de las especies existentes permanecen aún sin ser descritas. Interesante es que los resultados encontrados en *L. fuscus* se repiten en otras especies de *Leptodactylus*. Un análisis reciente de tres de las especies más grandes, en términos de tamaño de adultos, del grupo de *L. pentadactylus* (*L. pentadactylus*, *L. knudseni*, y *L. labyrinthicus*) demostró que la diversidad genética en estas especies supera la diversidad de patrones morfológicos adultos. La diferenciación genética de estas especies fue apoyada por otros aspectos de la biología de estas especies como ser caracteres comportamentales, patrones de diseño de juveniles, ecología, y características larvales (Heyer *et al.*, 2005). A consecuencia de esto se describieron 6 nuevas especies (Heyer, 2005). Estos estudios sugieren que en los procesos de especiación que influenciaron la diversificación en este grupo, las características larvales y de ecología han jugado un rol más importante que la diversificación de los adultos. Esto refuerza los comentarios previos donde se indicaba que en la conservación de anfibios se deben proteger tanto ambientes terrestres como acuáticos.

Los estudios en el género *Leptodactylus* han demostrado que la diversidad morfológica existente en los anfibios neotropicales no es predictiva de la real biodiversidad de especies existentes. Debido a la alarmante deforestación así como a la continua fragmentación y pérdida de hábitats en América Latina, es imperativo realizar estimaciones de la diversidad genética en forma inmediata antes que las especies desaparezcan completamente. Estos estudios extensivos de diversidad genética en anfibios sólo se podrán llevar a cabo y en forma efectiva a través de colaboraciones internacionales.

Si a nivel morfológico se estima que un 20% de la diversidad de anfibios no ha sido descrita, en base a los estudios mencionados es posible que al considerar la biodiversidad genética esta cifra aumente a un 40-50%. Dados los peligros enumerados anteriormente, en particular la pérdida de hábitats y el peligro que representan los patógenos emergentes, especialmente en América Latina donde varios de los declives son el resultado de estos patógenos, tenemos la responsabilidad de hacer estudios de diversidad genética para descifrar la biodiversidad de anfibios.

CONCLUSIONES

Los tres grupos de anfibios existentes son los remanentes de un antiguo clado del cual se originaron los vertebrados terrestres. Los anfibios juegan un papel importante en los ecosistemas, tanto como presas así como depredadores. Actualmente este grupo se encuentra en serio peligro de extinción, de magnitud comparable a la extinción de los dinosaurios, habiéndose documentado declive poblacional en casi la mitad de las especies existentes, y la extinción de más de 100 especies en las últimas dos décadas. La causa fundamental de los declives es la pérdida de hábitat, ya sea por eliminación completa de ciertos hábitats o por contaminación y polución de ambientes naturales. Mortalidades masivas de anfibios han sido registradas en áreas protegidas y estudios de estos eventos han registrado la presencia de una nueva enfermedad infecciosa causada por un hongo patógeno. Nada se sabe de la biología de este hongo. El efecto combinado de varios factores como ser: pérdida de ambientes, cambio climático, contaminación, y enfermedades acelera la desaparición de los anfibios. El deterioro ambiental y el declive en los anfibios son llamadas alarmantes a la reflexión sobre el efecto de las actividades humanas en el medio ambiente. Nos preguntamos entonces: ¿son los anfibios el primer grupo de vertebrados que exhibe los efectos de nuestra despreocupación por el deterioro ambiental? Y si es así, ¿a cuántas generaciones estamos para que este de-

terioro afecte seriamente la población humana? Definitivamente, la contaminación, polución, y escasez de aguas dulces saludables para la reproducción de los anfibios juega un papel importante en los actuales declives. Pero consideremos también las necesidades humanas de este recurso natural. ¿Cuál será el futuro de la humanidad sin aguas dulces saludables?

Para tratar de responder algunas de estas preguntas y para encontrar caminos que aseguren la supervivencia de los anfibios, se realizó recientemente en Washington DC, USA, la Reunión para la Conservación de los Anfibios (Amphibian Conservation Summit). La misma reunió a un equipo interdisciplinario de más de 60 personas desde científicos a miembros de la prensa internacional. Esta reunión elaboró un plan de acción para la conservación de los anfibios (Amphibian Conservation Action Plan, ACAP). La reunión culminó con una declaración en la que se llama a la inmediata acción para entender y evitar la extinción de los anfibios a nivel global. Esta declaración llama a la acción en cuatro aspectos interrelacionados: 1) Estudios para entender las causas de los actuales declives y extinciones; 2) Aceleración en la documentación de la diversidad de anfibios y sus cambios; 3) Desarrollo e implementación de programas de conservación a largo plazo; y 4) La creación de respuestas inmediatas de emergencia a situaciones de crisis. La elaboración y puesta en práctica de estos cuatro puntos requiere de algo más de 400 millones de dólares durante los próximos 5 años. La declaración fue acompañada del lanzamiento del Fondo de Acción para Anfibios (Amphibian Action Fund) con el objeto de recaudar fondos internacionales, nacionales, públicos, y privados para implementar el plan de trabajo.

La tarea que nos espera no es fácil, pero la magnitud del problema merece el esfuerzo. El futuro que enfrentan los anfibios es como mínimo incierto sino espeluznante. Nunca antes la civilización se ha enfrentado al dilema de permitir la extinción total de un grupo de vertebrados. Ante la incertidumbre sobre el futuro de los anfibios, no podemos responder con incertidumbre sino con acciones inmediatas, esfuerzos de tiempo y fondos para entender y parar el declive de los anfibios. Quizás así también estaremos entendiendo nuestro propio futuro.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los organizadores del presente congreso por la invitación a participar en el mismo. Se agradece a NSF por el financiamiento otorgado a través del proyecto # 0342918, y REU supplements, a RdS y WRH.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M. A., & J. K. EISCHEID. 2001. Climate variability in regions of amphibian declines. *Conservation Biology* 15:930-942.
- ANZALONE, C. R., L. B. KATS, y M. S. GORDON. 1998. Effects of solar UV- radiation on embryonic development in *Hyla cadaverina*, *Hyla regilla*, and *Taricha granulosa*. *Conservation Biology* 12:646-653.
- BEEBEE, T. J. C., R. J. FLOWER, A. C. STEVENSON, S. T. PATRICK, P. G. APPLEBY, C. FLETCHER, C. MARSH, J. NATKANSKI, B. RIPPEY, & R. W. BATTARBEE. 1990. Decline of the natterjack toad *Bufo calamita* in Britain: paleoecological, documentary, and experimental evidence for breeding acidification. *Biological Conservation* 53:1-20.
- BERGER, L., R. SPEARE, P. DASZAK, D. E. GREEN, A. A. CUNNINGHAM, C. L. GOGGIN, R. SLOCOMBE, M. A. RAGAN, A. D. HYATT, K. R. MCDONALD, H. B. HINES, K. R. LIPS, G. MARANTELLI, & H. PARKES. 1998. Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rainforest of Australia and Central America. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 95:1791-1795.
- BLAUSTEIN, A. R. 2001. www.defenders.org/magazine/new/Summer2001/frog.pdf.
- BLAUSTEIN, A. R., P. D. HOFFMAN, D. G. HOKIT, J. F. KIESECKER, S. C. WALLS, & J. B. HAYS. 1994. UV repair and resistance to solar UV- in amphibian eggs: a link to population declines? *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 91:1791-1795.
- BLAUSTEIN, A. R. & D. B. WAKE. 1990. Declining amphibian populations: a global phenomenon? *Trends in Ecology and Evolution* 5:203.
- BROOMHALL, S. D., W. S. OSBORNE, & R. B. CUNNINGHAM. 2000. Comparative effects of ambient ultraviolet- β radiation on two sympatric species of Australian frogs. *Conservation Biology* 14:420-427.
- BURROWES, P. A. & R. L. JOGLAR. 1991. A survey of the population status and an ecological evaluation of three Puerto Rican frogs. Pp. 42-46. In: J. A. Moreno (Ed.), *Status y distribución de los anfibios y reptiles de Puerto Rico*. Publicación Científica Miscelanea No 1. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, Puerto Rico.
- BURROWES, P. A., R. L. JOGLAR, & D. E. GREEN. 2004. Potential causes for amphibian declines in Puerto Rico. *Herpetologica* 60(2):141-154.
- CAMARGO A., DE SÁ, R. O. & W.R. HEYER. 2005. Phylogenetic analyses of mtDNA sequences reveal three cryptic lineages in the widespread neotropical frog *Leptodactylus fuscus* (Schneider, 1799) (Anura, Leptodactylidae). *Biol. J. Linnean Society*. In press.
- CAREY, C. 1993. Hypothesis concerning the disappearance of boreal toads from the mountains of Colorado. *Conservation Biology* 7:355-362.
- CAREY, C. y M. A. ALEXANDER. 2003. Climate change and amphibian declines: Is there a link? *Diversity and Distribution* 9:111-121.
- CAREY, C., N. COHEN, y L. ROLLINS-SMITH. 1999. Amphibian declines: an immunological perspective. *Developmental and Comparative Immunology* 23:459-472.
- CAREY, C., W. R. HEYER, J. WILKINSON, R. A. ALFORD, J. W. ARNTZEN, T. HALLIDAY, L. HUNGERFORD, K. R. LIPS, E. M. MIDDLETON, S. A. ORCHAD, & A. S. RAND. 2001. Amphibian declines and environmental change: use of remote-sensing data to identify environmental correlates. *Conservation Biology* 15:903-913.
- COLLINS, J. P., N. COHEN, E. W. DAVIDSON, J. E. LONGCORE & A. STORFER. 2004. Meeting the challenge of amphibian declines with an interdisciplinary research program. Pp 49-57. In: M. J. Lannoo (Ed.), *Declining amphibians: A United States response to the global problem*. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- COLLINS, J. P. & A. STORFER. 2003. Global amphibian declines: Sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* 9:89-98.
- DASZAK, P., L. BERGER, A. A. CUNNINGHAM, A. D. HYATT, D. E. GREEN, & R. SPEARE. 1999. Emerging infectious diseases and amphibian population declines. *Emerging Infectious Diseases* 5:735-748.
- DE SÁ, R. O., S. LOADER, & A. CHANNING. 2004. A new species of *Callulina* (Anura: Microhylidae) from the West Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of Herpetology* 38(2):219-224.
- FROST, D. R. 2004. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. V. 3.0 <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA.
- GORZULA, S. 1996. The trade in dendrobatid frogs from 1987 to 1993. *Herpetological Review* 27:116-123.
- GREEN, D. E., K.A. CONVERSE, & A. K. SCHRADER. 2002. Epizootiology of Sixty-Four Amphibian Morbidity and Mortality Events in the USA, 1996-2001. *Annals of the New York Academy of Sciences* 969:323-339

- HARTE, J. & E. HOFFMAN. 1989. Possible effects of acidic deposition on a Rocky Mountain population of the tiger salamander *Ambystoma tigrinum*. *Conservation Biology* 3:149-158.
- HAYES, M. P. & M. R. JENNINGS. 1986. Decline of ranid species in western North America: are bullfrog responsible? *Journal of Herpetology* 20:490-509.
- HAYES, T., A. COLLINS., M. LEE, M. MENDOZA, N. NORIEGA, A. A. STUART, & A. VONK. 2002a. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 99:5476-5480.
- HAYES, T., K. HASTON, M. TSUI, A. HOANG, C. HAEFFELE, & A. VONK. 2002b. Feminization of male frogs in the wild. *Nature* 419:895-896.
- HEYER, W. R. 2005. Variation and taxonomic clarification of the large species of the *Leptodactylus pentadactylus* species group (Amphibia: Leptodactylidae) from Middle America, and Amazonia." *Arquivos de Zoologia*. In press.
- HEYER, W.R., DE SÁ, R.O. & RETTIG, A. 2005. Sibling species, advertisement calls, and reproductive isolation in frogs of the *Leptodactylus pentadactylus* species cluster (Amphibia, Leptodactylidae). Pp. 35-39. In: *Herpetologia Petropolitana*, A. Ananajeva y O. Tsinenko (Eds.), *Proceeding of the 12th Ordinary General Meeting of the Societas Europaea Herpetologica*, St. Peterburg, Russia
- HEYER, W. R., A. S. RAND, C. A. G. DA CRUZ, & O. L. PEIXOTO. 1988. Decimations, extinctions, and colonizations of frog populations in southeast Brazil and their evolutionary implications. *Biotropica* 20:230-235.
- HOULAHAN, J. E., C. S. FINDLAY, B. R. SCHMIDT, A. H. MEYER, & S. L. KUZMIN. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404:752-755.
- HUYS, G., M. PEARSON, P. KÄMPFER, R. DENYS, M. CNOCKAERT, V. INGLIS, & J. SWINGS. 2003. *Aeromonas hydrophila* subsp. *ranae* subsp. nov., isolated from septicaemic farmed frogs in Thailand. *International Journal of Systematics and Evolutionary Microbiology* 53: 885-891.
- INGRAM, G. J. 1990. The history of the disappearing frogs. *Wildlife Australia* 27:6-7.
- IZAGUIRRE, M. F., R. C. LAJMANOVICH, P. M. PELTZER, A. P. SOLER, & V. H. CASCO. 2000. Cypermethrin-induced apoptosis in the telencephalon of *Physalaemus biligonigerus* tadpoles (Anura: Leptodactylidae). *Environmental Contamination and Toxicology* 65:501-507.
- JANCOVICH, J. K., E. E. DAVIDSON, J. F. MORADO, B. L. JACOBS, & J. P. COLLINS. 1997. Isolation of a lethal virus from the endangered tiger salamander *Ambystoma tigrinum stebbinsi*. *Diseases of Aquatic Organisms* 31:161-167.
- JANCOVICH, J.K., J. MAO, V. G. CHINCHAR, C. WYATT, S. T. CASE, S. KUMAR, G. VALENTE, S. SUBRAMANIAN, E. W. DAVIDSON, J. P. COLLINS, & B. L. JACOBS. 2003. Genomic sequence of a ranavirus (family Iridoviridae) associated with salamander mortalities in North America. *Virology* 316(1):90-103
- JENNINGS, M. R. & M. P. HAYES. 1985. Pre-1900 overharvest of the California red-legged frog (*Rana aurora draytonii*): the inducement for bullfrog (*Rana catesbeiana*) introduction. *Herpetologica* 41:94-103.
- JOGLAR, R. L. 1998. Los coquíes de Puerto Rico: su historia natural y conservación. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- JOGLAR, R. L. & P. A. BURROWES. 1996. Declining amphibian populations in Puerto Rico. Pp. 371-380. In: R. Powell y R. W. Henderson (Eds.) *Contributions to West Indian Herpetology: A tribute to Albert Schwartz*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, *Contributions to Herpetology*, vol. 12. Ithaca, New York.
- KIESECKER, J. M & A. R. BLAUSTEIN. 1995. Synergism between UV- β radiation and a pathogen magnifies amphibian embryo mortality in nature. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 92:11049-11052.
- KIESECKER, J. M & A. R. BLAUSTEIN. 1999. Pathogen Reverses Competition Between Larval Amphibians. *Ecology* 80(7):2442-2448.
- KIESECKER, J. M., A. R. BLAUSTEIN, & L. K. BELDEN. 2001a. Complex causes of amphibian population declines. *Nature* 410:681-684.
- KIESECKER, J. M., A. R. BLAUSTEIN, & C. L. MILLER. 2001b. Transfer of a pathogen from fish to amphibians. *Conservation Biology* 15:1064-1070.
- KNAPP, R. A. & K. R. MATTHEW. 2000. Non-native introductions and the decline of the mountain yellow-legged frog within protected areas. *Conservation Biology* 14:428-438.
- KNAPP, R. A., K. R. MATTHEW, & O. SARNELLE. 2001. Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions. *Ecological Monographs* 71:401-421.
- LAJMANOVICH, R. C., M. T. SANDOVAL, & P. M. PELTZER. 2003. Induction of mortality and malformation in *Scinax nasicus* tadpoles exposed to glyphosate formulations. *Environmental Contamination and Toxicology* 70:612-618.
- LA MARCA, E., K. R. LIPS, S. LÖTTERS, R. PUSCHENDORF, R. IBÁÑEZ, J. V. RUEDA-ALMONACID, R. SCHULTE, C. MARTY, F. CASTRO,

- J. MANZANILLO-PUPPO, J. E. GARCÍA-PÉREZ, F. BOLAÑOS, G. CHAVEZ, J. A. POUNDS, E. TORAL, & B. E. YOUNG. 2005. Catastrophic population declines and extinction in Neotropical harlequin frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica* 37:190-201.
- LAURANCE, W. F., K. R. MCDONALD, & R. SPEARE. 1996. Epidemic disease and the catastrophic decline of Australian rain forest frogs. *Conservation Biology* 10:406-413.
- LENOIR, J. S., L. L. MCCONNELL, G. M. FELLERS, T. M. CAHILL, & J. N. SEIBER. 1999. Summertime transport of current-use pesticides from California's central valley to Sierra Nevada mountain range, USA. *Environmental Toxicology Chemistry* 18:2715-2722.
- LIPS, K. R. 1998. Decline of a tropical montane amphibian fauna. *Conservation Biology* 12:106-117.
- LIPS, K. R. 1999. Mass mortality of the anuran fauna at an upland site in Panama. *Conservation Biology* 13:117-125.
- LIPS, K. R., P. A. BURROWES, J. R. MENDELSON III, & G. PARRA-OLEA. 2005a. Amphibian declines in Latin America: Widespread population declines, extinctions, and impacts. *Biotropica* 37:163-165.
- LIPS, K. R., P. A. BURROWES, J. R. MENDELSON III, & G. PARRA-OLEA. 2005b. Amphibian declines in Latin America: A synthesis. *Biotropica* 37:222-226.
- LIPS, K. R., J. K. REASSER, B. E. YOUNG, & R. IBAÑEZ. 2001. Amphibian monitoring in Latin America: A protocol manual. *Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Herpetological Circular* 30:1-115.
- LIZANA, M. & E. M. PEDRAZA. 1998. The effects of UV-radiation on toad mortality in mountain areas of Central Spain. *Conservation Biology* 12:703-707.
- LONGCORE, J. E., A. P. PESSIER, & D. K. NICHOLS. 1999. *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia* 91:219-227.
- MAO, J., D. E. GREEN, G. FELLERS, & V. G. CHINCHAR. 1999. Molecular characterization of iridoviruses isolated from sympatric amphibians and fish. *Virus Research* 63:45-52.
- MAZZONI, R. A., A. CUNNINGHAM, P. DASZAK, A. APOLO, E. PERDOMO, & G. SPERANZA. 2003. Emerging pathogen of wild amphibians in frogs (*Rana catesbeiana*) farmed for international trade. *Emerging Infectious Diseases* 9:995-998.
- MIDDLETON, E. M., J. R. HERMAN, E. A. CELARIER, J. W. WILKINSON, C. CAREY, & R. J. RUSIN. 2001. Evaluating ultraviolet radiation exposure with satellite data at sites of amphibian declines in Central and South America. *Conservation Biology* 15:914-929.
- MOREHOUSE, E. A., T. Y. JAMES, A. R. D. GANLEY, R. VILGALYS, L. BERGER, P. J. MURPHY, & J. E. LONGCORE. 2003. Multilocus sequence typing suggests the chytrid pathogen of amphibians is a recently emerged clone. *Molecular Ecology* 12:395-403.
- MUTHS, E., P. S. CORN, A. P. PESSIER, & D. E. GREEN. 2003. Evidence for disease-related amphibian decline in Colorado. *Biological Conservation* 110:357-365.
- MUTSCHMANN, F., L. BERGER, P. ZWART, & C. GAEDICKE. 2000. Chytridiomycosis on amphibians—first report from Europe. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 113:380-383.
- PAHKALA, M., K. RÄSÄNEN, A. LAURILA, U. JOHANSON, L. O. BJÖRN, & J. MERILLÄ. 2002. Lethal and sublethal effects of UV-β/pH synergism on common frog embryos. *Conservation Biology* 16:1063-1073.
- PARRA-OLEA, G., E. MARTÍNEZ-MEYER, & G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 2005. Forecasting climate change effects on salamander distribution in central México highlands. *Biotropica* 37:202-208.
- PIOTROWSKI, J. S., S. L. ANNIS, & J. E. LONGCORE. 2004. Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. *Mycologia* 96:9-15.
- POUNDS, J. A. & M. L. CRUMP. 1994. Amphibian declines and climate disturbances: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology* 8:72-85.
- POUNDS, J. A., M. P. FOGDEN, & J. H. CAMPBELL. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398:611-615.
- SALAS, A. W. 1995. Herpetofauna peruana: una visión panorámica sobre investigación, conservación y manejo. *Biotiempo* 2:125-137.
- SCOTT, N. J. 1993. Postmetamorphic death syndrome. *Froglog* 7:1-2.
- SESSIONS, S. K., R. A. FRANSSSEN, & V. L. HORNER. 1999. Morphological clues from multilegged frogs: are retinoids to blame? *Science* 284:800-802.
- SPARLING, D. W. 1995. Acidic deposition: a review of biological effects. Pp. 301-329. In: D. J. Hoffman, B. A. Rattner, G. A. Burton Jr., y J. Cairns Jr. (Eds). *Handbook of ecotoxicology*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- STALLARD, R. F. 2001. Possible environmental factors underlying amphibian decline in eastern Puerto Rico: analysis of U.S. government data archives. *Conservation Biology* 15:943-953.
- STEWART, M. M. 1995. Climate driven population fluctuations in rainforest frogs. *Journal of Herpetology* 29:437-446.
- STUART, S. N., J. S. CHANSON, N. A. COX, B. E. YOUNG, A. S. L. RODRIGUES, D. L. FISCHMAN, & R. W. WALLER. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306:1783-1786.

- VREDENBERG, V. T. 2004. Reversing introduced species effects: experimental removal of introduced fishes leads to rapid recovery of a declining frog. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:7646-7650.
- WAKE, D. B. & H. J. MOROWITZ. 1991. Declining amphibian populations-a global phenomenon? Findings and recommendations. *Alytes* 9:33-42.
- WELDON, C., L. H. DU PREEZ, A. D. HYATT, R. MULLER, & R. SPEARE. 2004. Origin of the amphibian chytrid fungus. *Emerging Infectious Diseases* 10:2100-2105.
- WEYGOLDT, P. 1989. Changes in the composition of mountain stream frog communities in the Atlantic mountains of Brazil: frogs and indicators of environmental deteriorations? *Studies of Neotropical Fauna and Environment* 24:249-255.
- YOUNG, B.E., K. R. LIPS, J. K. REASSER, R. IBAÑEZ, A. W. SALAS, J. R. CEDEÑO, L. A. COLOMA, S. RON, E. LAMARCA, J. R. MEYER, A. MUÑOZ, F. BOLAÑOS, G. CHAVES, & D. ROMO. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology* 15:1213-1223.
- YOUNG, B.E., S. N. STUART, J. S. CHANSON, N. A. COX, y T. M. BOUCHER. *Disappearing Jewels: The status of New World Amphibians*. NatureServe, Arlington, Virginia.