

# 6

## Peces amazónicos y cambio climático

Oberdorff T.<sup>1,2</sup>

Jézéquel C.<sup>2</sup>

Campero M.<sup>3</sup>

Carvajal-Vallejos F.<sup>3</sup>

Cornu J.F.<sup>4</sup>

Dias M.S.<sup>2</sup>

Duponchelle F.<sup>1,2,5</sup>

Maldonado-Ocampo J.A.<sup>6</sup>

Ortega H.<sup>7</sup>

Renno J.F.<sup>1,2,5</sup>

Tedesco P.A.<sup>2</sup>



<sup>1</sup> Institut de Recherche pour le Développement – IRD

<sup>2</sup> Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques – BOREA (CNRS, IRD, Museum National d'Histoire Naturelle, Université Paris 6, Université de Caen Basse Normandie), Paris, France

<sup>3</sup> Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos \_ ULRA, Universidad Mayor de San Simón - UMSS, Cochabamba, Bolivia

<sup>4</sup> Institut des Sciences de l'Évolution - ISEM, (CNRS, IRD, Université Montpellier 2), Montpellier, France.

<sup>5</sup> Laboratoire Mixte International Evolution et Domestication de l'Ichtyofaune Amazonienne – LMI EDIA (IRD France, IIAP Perú)

<sup>6</sup> Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

<sup>7</sup> Departamento de Ictiología, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM, Lima, Perú

# RESÚMENES

## Español

Con el 15% de todos los peces de agua dulce descritos en el mundo, la cuenca amazónica es el sistema de agua dulce más biodiverso del planeta. Hoy en día, los factores principales de degradación de los ecosistemas de agua dulce en la región amazónica son la rápida expansión de las infraestructuras y actividades económicas. Estas perturbaciones provocan importantes efectos negativos en las comunidades de peces y podrían verse amplificados por los impactos del cambio climático. Las pérdidas de hábitat originados por el cambio climático no deberían tener efectos sobre las tasas de extinción de la especies. Sin embargo, el estrés térmico y la limitación de oxígeno podrían provocar extinciones locales de ciertas especies y producir cambios progresivos en la estructura y composición de las comunidades actuales de peces. Las especies tolerantes al aumento de temperatura, como el Paiche, se expandirán mientras que las especies sensibles a este aumento se reducirán. Cabe destacar que hoy en día las acciones de conservación deben enfocarse en la reducción de los efectos de las amenazas antropogénicas en curso.

## Francés

### Poissons amazoniens et changement climatique

Avec 15% de tous les poissons d'eau douce décrits dans le monde, le bassin amazonien est le système d'eau douce présentant la plus grande biodiversité de la planète. Aujourd'hui, les principaux facteurs de dégradation des écosystèmes d'eau douce dans la région amazonienne sont l'expansion rapide des infrastructures et les activités économiques. Ces perturbations provoquent d'importants effets négatifs sur les communautés de poissons et pourraient être amplifiés par les impacts du changement climatique. La perte d'habitat due au changement climatique ne devrait avoir aucun effet sur les taux d'extinction des espèces. Cependant, le stress lié à la température et la limitation de l'oxygène pourraient provoquer l'extinction locale de certaines espèces et produire des changements progressifs dans la structure et la composition des communautés actuelles de poissons. Les populations d'espèces tolérantes à l'augmentation de température, comme le Paiche, augmenteront, tandis que les populations d'espèces sensibles à cette augmentation diminueront. Il est important de noter que, à l'heure actuelle, les actions de conservation doivent se concentrer sur la réduction des effets des menaces anthropiques en cours.

## Inglés

### Amazonian fish and climate change

With 15% of all described freshwater fish in the world, the Amazon basin is the most biodiverse freshwater system of the planet. Nowadays, the main factors of degradation of freshwater ecosystems in the Amazon region are the rapid expansion of infrastructure and economic activities. These disturbances cause negative effects on fish communities and could be amplified by the impacts of climate change. Loss of habitat due to climate change should have no effect on rates of species extinction. However, thermal stress and oxygen limitation could cause local extinctions of certain species and produce progressive changes in the structure and composition of existing fish communities. Tolerant species to temperature increase - as the Paiche - should expand, while sensitive species should be reduced. It is noteworthy that conservation actions should focus on reducing the effects of anthropogenic threats in progress.

## 6 Peces amazónicos y cambio climático

La cuenca amazónica es el sistema de agua dulce más biodiverso del mundo. Es especialmente cierto en el caso de los peces que, con alrededor de 2 300 especies descritas [1,2], representan un 15% de todos los peces de agua dulce descritos en todo el mundo (Fig. 1). Los procesos que han generado esta alta diversidad en la fauna de peces no han sido completamente resueltos. Sin embargo, las altas tasas de especiación (formación de nuevas especies) y las bajas tasas de extinción de especies durante varios millones de años, debido a la diversidad de hábitats acuáticos y la estabilidad de condiciones climáticas favorables, están muy probablemente implicados en estos procesos [3].

La gran mayoría de los peces amazónicos pertenecen a 5 grupos dominantes: los caracínidos, los bagres, los cíclidos, los killifishes y los peces eléctricos. Una de las características generales de la fauna de peces amazónicos es la abundancia de las especies de tamaño muy pequeño (desde 20 hasta 40 milímetros),

conocidos por los acuaristas, así como la abundancia de los muy grandes. Entre este último grupo, podemos citar al predador *Brachyplatystoma filamentosum*, un pez gato gigante que puede medir hasta 3 metros y pesar hasta 140 kg ; el frugívoro *Colossoma macropomum* (conocido como Pacu en el Perú, Tambaqui en Brasil, Cachama en Colombia) que pesa hasta 30 kg; la anguila eléctrica *Electrophorus electricus* midiendo hasta 1,8 metros y capaz de producir una descarga eléctrica de hasta 650 voltios; o el predador *Arapaima gigas* (conocido como Paiche en el Perú o Pirarucu en Brasil) alcanzando hasta 3 metros de largo y pesando hasta 200 kg (Fig. 2).

En comparación con la mayoría de los ecosistemas fluviales de la Tierra, la cuenca amazónica y su fauna de peces siguen teniendo un buen estado general de conservación a pesar de un aumento sustancial de las amenazas potenciales, tales como la fragmentación del hábitat, la modificación de los caudales por las represas, la deforestación, la

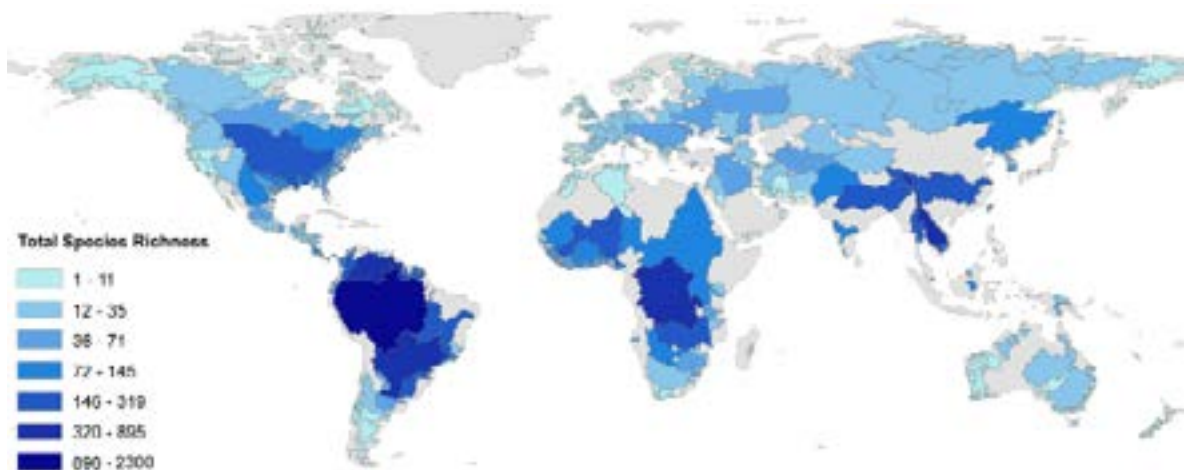


Figura 1: Patrones globales de riqueza de especies de peces de agua dulce en las cuencas hidrográficas del mundo [16].

6 Peces amazónicos y cambio climático

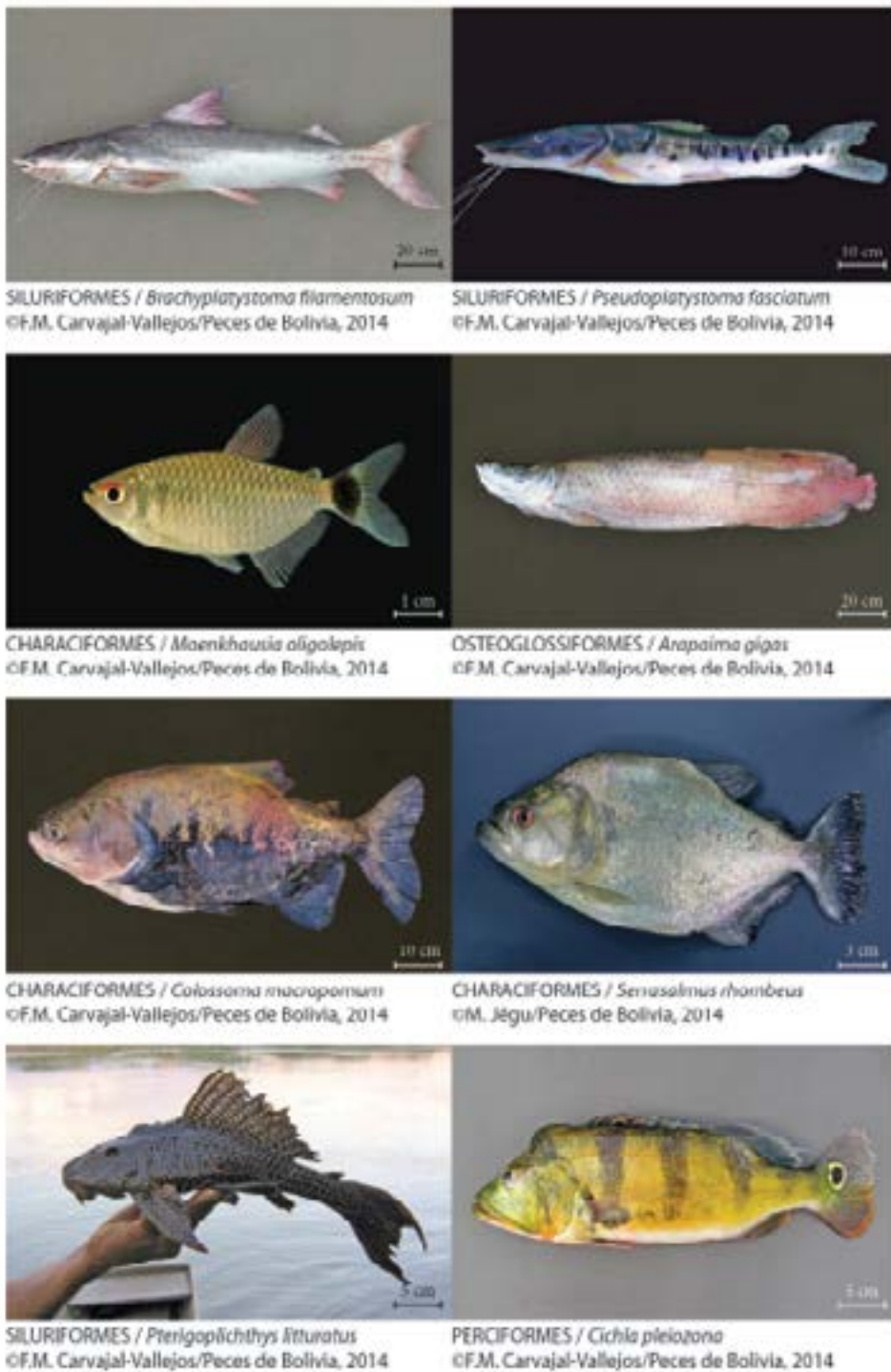


Figura 2. Ejemplos de especies de peces de la cuenca amazónica. Fotos de Sarmiento et al. [3].

sobrepesca y la contaminación industrial [4]. El cambio climático global podría reforzar aún más estas amenazas al nivel regional y poner en peligro la fauna de peces amazónicos en un futuro próximo. En este contexto, la pregunta es: ¿Cuán vulnerables son los peces de agua dulce de la Amazonía al cambio climático actual?

El cambio climático podría provocar la extinción directa de especies pero también producir cambios progresivos en la estructura y composición de las comunidades actuales de peces al ocasionar cambios en los rangos de distribución de las especies. En este breve capítulo vamos a tratar de proporcionar elementos de reflexión sobre estos dos aspectos.

### Cambio climático y extinción de peces amazónicos

En la cuenca amazónica, además de un aumento de las temperaturas, también se prevé que el cambio climático cause grandes cambios en los patrones de lluvia, aumentando la frecuencia de períodos de sequía más largos y una disminución general de la disponibilidad de agua para este sistema fluvial. Se teme que esa reducción de la disponibilidad de agua conduzca a la extinción de organismos de agua dulce como los peces.

Para determinar cuántas especies se habrán extinguido en la cuenca amazónica por causa del cambio climático, se utilizó una curva empíricamente derivada “tasas de extinción natural - área de la cuenca del río” previamente establecida para los peces fluviales [5].

Sobre la base de esta relación, y siguiendo el enfoque metodológico de Tedesco et al. [6], primero calculamos cómo la pérdida de área debida al cambio climático va a cambiar las tasas de extinción naturales en la cuenca del río Amazonas.

El interés de la utilización de este último enfoque, en comparación con los anteriores que consideran únicamente a las especies “destinadas a desaparecer” en una escala de tiempo incierto, es que permite la predicción de un número real de especies extinguidas en un marco temporal establecido.

Usando el número de especies conocidas en la cuenca amazónica, la tasa de extinción natural de las poblaciones de peces y la reducción esperada en toda la superficie de la cuenca, se predijo el número de especies que podrían ser amenazadas de extinción en la cuenca amazónica en el año 2090.

Si bien este resultado nos da buenas razones de ser optimistas en cuanto al futuro próximo de los peces de agua dulce amazónicos con respecto a la pérdida de disponibilidad de agua impulsada por el cambio climático, debemos, sin embargo, tener en cuenta que la pérdida de hábitat, aunque es generalmente identificada como la más grave amenaza para la biodiversidad, representa sólo un aspecto del cambio climático futuro. Otros componentes como, por ejemplo, el estrés térmico y la limitación de oxígeno asociada, también podrían llevar a un aumento en las tasas de extinción de las especies de peces más vulnerables de la cuenca amazónica.

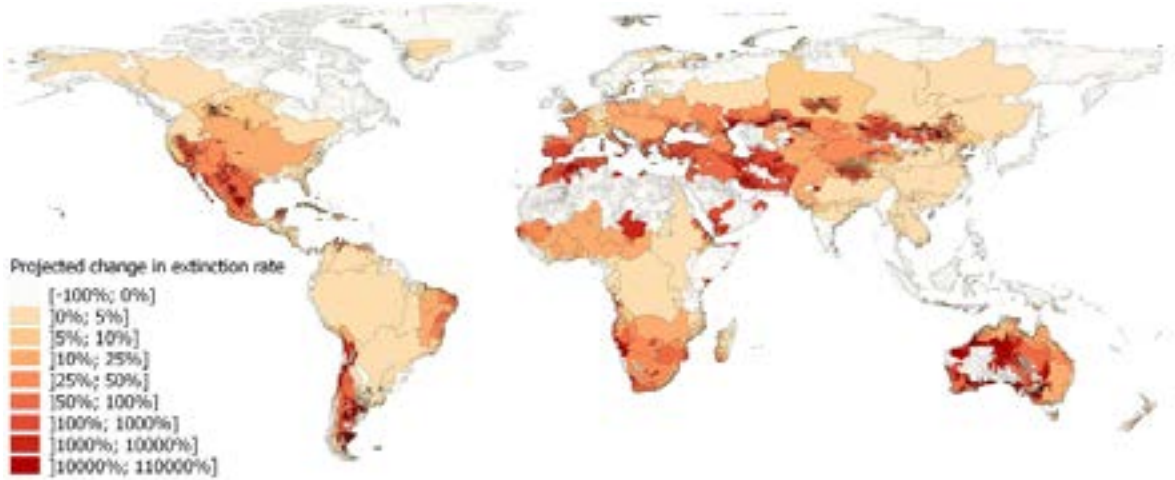


Figura 3a: Patrones globales de incremento o disminución proporcionales de las tasas de extinción entre las condiciones climáticas futuras y actuales. Los valores negativos del cambio proyectado en la tasa de extinción representan cuencas donde las tasas de extinción pueden disminuir, mientras que los valores positivos representan cuencas donde las tasas de extinción pueden aumentar. [6]



Figura 3b: Proyección de los valores del índice de aridez de De Martonne (DM) para el año 2080 según el escenario A2 y en base a los datos climáticos futuros procedentes de 19 modelos de circulación general (MCG). Un valor DM de 10 se considera como el límite superior para categorizar climas áridos y un valor de más de 30 por lo general caracteriza a los paisajes forestales. De acuerdo con esta proyección, la cuenca amazónica debería ser relativamente preservada de la aridez a la excepción de su parte más meridional.

La pérdida de hábitat, aunque es generalmente identificada como la más grave amenaza para la biodiversidad, representa sólo un aspecto del cambio climático futuro.



Por otra parte, varios estudios de modelización sugieren que la combinación del cambio climático global con la deforestación de la cuenca amazónica podrían acentuar la pérdida de agua en la región, y que más allá de ciertos umbrales de deforestación y de cambio climático, toda la cuenca podría volverse más seca [8]. Sin embargo, si bien esto podría ocurrir, los límites más allá de los cuales se presentaría esta situación están sujetos a una gran incertidumbre [9].

### Cambio climático y cambios en el rango de distribución de las especies: Adaptación y vulnerabilidad

Se prevé que el cambio climático aumente la temperatura del agua en la cuenca amazónica y las especies de peces tendrán por lo tanto que desplazarse a lo largo del sistema fluvial, expandiéndose y contrayéndose sus rangos naturales de distribución, con el fin de seguir sus condiciones óptimas de temperatura. Por ejemplo, las especies tolerantes a los aumentos de temperatura ampliarán muy probablemente su área de distribución en la cuenca del río a medida que aumente la temperatura del agua. Para ilustrar este tema, hemos escogido centrarnos en una especie amazónica emblemática: el predador *Arapaima gigas* (Fig. 2). Comúnmente conocido como el Paiche en el Perú, es la especie más grande de peces de la Amazonía. Se distribuye de forma natural en la mayoría de los ríos de la cuenca amazónica, con una notable excepción en la parte de aguas arriba del Río Madeira (Amazonía boliviana) donde una serie de rápidos probablemente actúan como barreras a la colonización (Fig. 4).

A lo largo de toda su área de distribución natural, décadas de sobreexplotación han agotado seriamente las poblaciones naturales, lo que justifica la inclusión del *Arapaima gigas* en el apéndice II de la lista CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) donde figuran especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio.

La parte interesante (paradójica) de la historia es que el *Arapaima gigas*, originalmente ausente de la Amazonía boliviana, colonizó estas aguas después de una introducción involuntaria al comienzo de los años 1970s por la parte peruana de la cuenca del Río Madre de Dios. Ahora la especie es considerada como invasora en aguas bolivianas y por lo tanto también ilustra la capacidad de una especie para colonizar hábitats con nuevas condiciones ambientales adecuadas. Este pez gigante se vuelve cada vez más explotado como fuente de alimentos en Bolivia y su valor de mercado está en constante aumento. Sin embargo estos depredadores no nativos también pueden causar cambios en la abundancia y distribución de especies nativas [10].

Asumiendo que el género *Arapaima* es monoespecífico [pero ver 11,12], se utilizó como modelo en el algoritmo de MaxEnt [13,14] para identificar potenciales áreas favorables para la especie en el futuro. MaxEnt da una estimación de la probabilidad de presencia de la especie (que oscila entre 0 y 1) en función de los factores ambientales.

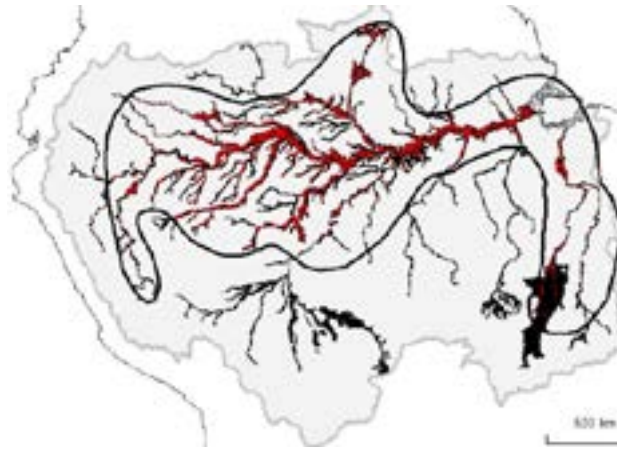


Figura 4: Distribución natural de Arapaima gigas en la cuenca amazónica como lo describe Hrbek et al [15].

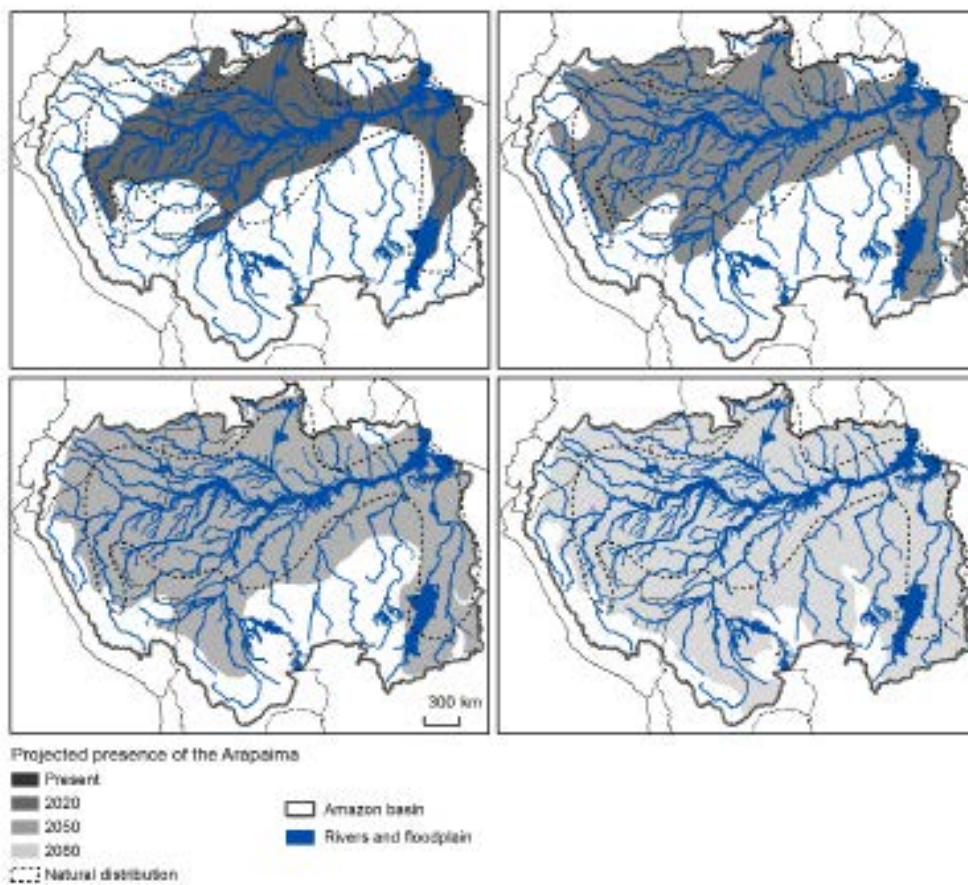


Figura 5: Expansión potencial de la distribución geográfica del Arapaima gigas en el futuro (años 2020, 2050, 2080) de acuerdo con nuestro modelo MaxEnt utilizando la temperatura y la altitud como principales indicadores.



Este algoritmo ha sido ampliamente utilizado por los científicos, las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para el modelado de las futuras distribuciones de las especies en función del cambio climático en curso.

Utilizamos el área de distribución natural de la especie según la descripción de [15] y luego seleccionamos el promedio mensual de temperaturas mínimas y la altitud como principales indicadores potenciales que limitan esta distribución natural [16]. El medio ambiente futuro fue representado por los cambios previstos en el escenario A2 (escenario más pesimista disponible) para el 2020, 2050 y 2080, estimados a través de tres modelos climáticos globales (los modelos CCCMA, CSIRO y HADCM3). Ajustándose a estos datos, el algoritmo MaxEnt generó proyecciones de distribución de la especie para climas actuales y futuros.

Como se muestra en la Figura 5, los modelos predicen que *Arapaima gigas* va a expandirse progresivamente a lo largo de casi toda la cuenca amazónica y que su futura distribución será solamente limitada por zonas de gran altitud.

Mediante el uso del *Arapaima gigas* como ejemplo, nos hemos centrado en las especies tolerantes a un aumento de temperatura y obviamente notamos una expansión de su rango de distribución tras el calentamiento global. Sin embargo las especies tolerantes al frío también están presentes, por ejemplo,

en las partes altas de la cuenca del Amazonas. Para estas especies que viven principalmente en las regiones de altitudes importantes se espera una reducción en su distribución. De hecho, estas especies, que son a menudo endémicas (especies de distribución restringida), deben ser altamente vulnerables al calentamiento global, sobre todo debido a rangos climáticos restringidos, pequeñas poblaciones aisladas, y la ausencia de zonas adecuadas a mayor altitud en las que migrar.

Evidentemente, hay otras amenazas potenciales que pudieran originarse por el cambio climático. Por ejemplo, tanto el rango de expansión como el de contracción de las especies debido al calentamiento global pueden cambiar la estructura y composición de las comunidades de peces en la cuenca amazónica, creando nuevas competencias, intercambios de agentes patógenos e interacciones de depredación entre especies, lo cual podría llevar a la posible extinción de las mismas. Además, la mayoría de las predicciones sobre el rango de expansión y contracción se basan en la hipótesis de que los peces amazónicos tienen una buena capacidad de dispersión. Aunque abundan las especies migratorias a lo largo de la cuenca amazónica, cabe destacar que la mayor parte de la fauna de peces está compuesta por especies de tamaño pequeño (todavía en gran parte desconocidos) que tienen capacidades de dispersión y/o migratorias muy probablemente limitadas [17]. Por lo tanto, es necesario evaluar la capacidad de las especies de peces de la Amazonía para seguir los cambios térmicos futuros.

Para concluir, dimos aquí una imagen aproximada de lo que podrían ser los efectos del cambio climático en la fauna de peces de la cuenca amazónica, centrándose solamente en los cambios que un aumento de la temperatura podría producir. Es importante, sin embargo, recordar que los sistemas ecológicos complejos, como la cuenca amazónica, son a menudo el resultado de interacciones entre múltiples factores. Es cada vez más evidente que la estructura y función de los ecosistemas de agua dulce de la Amazonía están siendo afectados por la rápida expansión de las infraestructuras y actividades económicas [4]. Cuatro factores principales de la degradación de los ecosistemas de agua dulce han sido por lo tanto establecidos: la deforestación, la construcción de represas y canales

navegables, la contaminación y la sobrepesca. Estas perturbaciones ya han generado profundos efectos negativos en las comunidades de peces no sólo en la Amazonía [4,18,19] sino también en todo el mundo [6]. Nuestro mensaje general es que estas perturbaciones parecen tener mucho más impacto sobre los peces amazónicos que las previstas por el cambio climático. Por lo tanto creemos que las acciones de conservación deben enfocarse de manera preliminar en la reducción de los efectos de estas amenazas antropogénicas en curso. A causa de la multiplicidad de trastornos, también hay una necesidad urgente de desarrollar una mejor comprensión de los efectos combinados e interactivos de estos factores de estrés (incluyendo el cambio climático) sobre la biodiversidad de peces amazónicos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el IRD a través del LMI EDIA (Contrato n° 04030047) y el proyecto BIOFRESH UE (FP7-ENV-2008, contrato n° 226874). M.S.D. recibió una subvención de doctorado por parte del gobierno brasileño (Ciencia sin Fronteras programa, MCTI / MEC).

## REFERENCIAS

- 1 - Winemiller KO & Willis ST (2011). The Vaupes Arch and Casiquiare Canal – Barriers and passages. In In Albert, J. S. & R. E. Reis (eds), *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. University of California Press, London: 225-242.
- 2 - Brosse S, Beauchard O, Blanchet S, Dürr HH, Grenouillet G, Hugueny B, Lauzeral C, Leprieur F, Tedesco PA, Villéger S, Oberdorff T (2013). SPRICH: a database of freshwater fish species richness across the World. *Hydrobiologia* 700, 343-349
- 3 - Sarmiento J, Bigorne R, Carvajal-Vallejos FF, Maldonado M, Leciak E & Oberdorff T (2014). *Bolivian fishes*. Scientific Eds: Sarmiento J, Bigorne R, Carvajal-Valleros FF, Maldonado M, Leciak E & Oberdorff T. Plural & IRD Editors. ISBN: 978-99954-574-7, 211p.
- 4 - Castello et al. (2013). The vulnerability of Amazon ecosystem. *Conservation Letters* 6, 217-229
- 5 - Hugueny, B., Movellan, A. & Belliard, J. (2011) Habitat fragmentation and extinction rates within freshwater fish communities: a faunal relaxation approach. *Global Ecology and Biogeography* 20, 449–463.
- 6 - Tedesco PA, Oberdorff T, Cornu JF, Beauchard O, Brosse S, Dürr HH, Grenouillet G, Leprieur F, Tisseuil C, Zaiss R & Hugueny B (2013). A scenario for impacts of water availability loss due to climate change on riverine fish extinction rates. *Journal of Applied Ecology* 50, 1105–1115.
- 7 - Pachauri RK & Reisinger A (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva.
- 8 - Leadley P, Proença V, Fernández-Manjarrés J, Pereira HM, Alkemade R, Biggs R, Bruley E, Cheung W, Cooper D, Figueiredo J, Gilman E, Guénette S, Hurtt G, Mbow C, Oberdorff T, Revenga C, Scharlemann J, Scholes R, Stafford-Smith M, Sumaila R, Walpole M (2014). Interacting Regional Scale Regime Shifts for Biodiversity and Ecosystem Services. *BioScience* 64, 665-679.
- 9 - Davidson EA, et al. 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321-328

10 - Carvajal-Vallejos FM, Van Damme PA, Cordova L & Coca C (2011). The introduction of paiche (*Arapaima gigas*) in the Bolivian Amazon. In *Los peces y delfines de la Amazonia Boliviana*. Eds Van Damme PA, Carvajal-Villaros FM & Carpio M. Editorial INIA, pp 367-395.

11 - Stewart DJ (2013a). Re-description of *Arapaima agassizii* (Valenciennes), a Rare Fish from Brazil (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae). *Copeia* 1, 38-51.

12 - Stewart, DJ (2013b). A New Species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimoes River, Amazonas State, Brazil. *Copeia* 2013 3, 470-476.

13 - Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259

14 - Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudik M, En Chee Y & Yates CJ (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43-57

15 - Hrbek T, Farias IP, Crossa M, Sampaio I, Porto JIR & Meyer A (2005). Population genetic analysis of *Arapaima gigas*, one of the largest freshwater fishes of the Amazon basin: implications for its conservation. *Animal Conservation* 8, 297-308

16 - Oberdorff T, Tedesco PA, Hugueny B, Leprieur F, Beauchard O, Brosse S & HH Dürr (2011) Global and regional patterns in riverine fish species richness: A review. *International Journal of Ecology* doi: 10.1155/2011/967631.

17 - Albert J, Bart Jr HL & Reis R (2011). Species richness and cladal diversity. In Albert, J. S. & R. E. Reis (eds), *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. University of California Press, London: 3–19

18 - Petrere Jr, M, Barthem RB, Cordoba EA & Gomez BC (2004). Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraiba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 403-414.

19 - Pelicice, FM, Pompeu PS & Agostinho AA (2014). Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. *Fish and Fisheries*, DOI: 10.1111/faf.12089.

